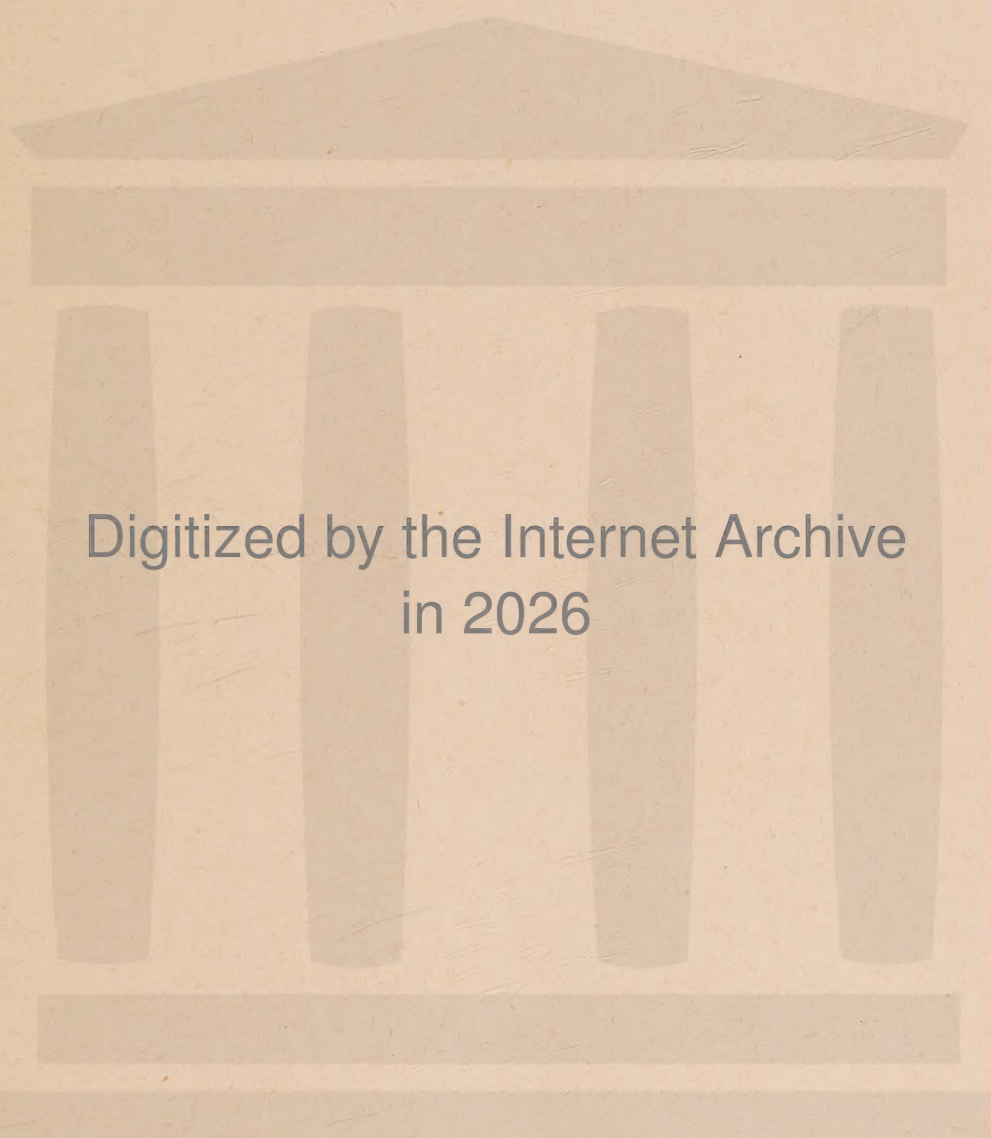


**Bestimmung des Phosphatbedarfes von Böden
aus der Änderung der Bodenatmung nach
Phosphatdüngung**

Engelbert Schwegler



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41547401_0023

Bestimmung des Phosphatbedarfes von Böden aus der
Änderung der Bodenatmung nach Phosphatdüngung

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

Hohen Naturwissenschaftlichen Fakultät

der

Ludwig-Maximilians-Universität

zu München



vorgelegt

von

Engelbert SCHWEGLER

aus

München

April 1957

Berichterstatter: 1. Prof.Dr.F.BUKATSCH

2. Prof.Dr.L.BRAUNER

Tag der mündlichen Prüfung: 5. Juni 1957.

Meinen lieben Eltern
in Dankbarkeit

Inhaltsverzeichnis

	Seite
I. Einleitung	1
II. Ein neuer Gesichtspunkt zur Ermittlung der Phosphorsäurebedürftigkeit von Böden	2
III. Die Methodik zur Bestimmung der Atmungsgrösse	5
1. Überblick über die verschiedenen Verfahren	5
2. Die neue Versuchsanordnung und die Durch- führung der Kohlendioxydbestimmung	7
3. Versuche zur Kontrolle möglicher Fehler- quellen	8
a) Prüfung auf den Dichtverschluss der Gläser	8
b) Bestimmung des Blindwertes und des Titrationsfehlers	10
c) Genauigkeit der Erfassung der Kohlen- dioxydmenge	11
d) Über den Einfluss des während der Ver- suche abnehmenden Sauerstoffgehaltes	14
4. Die Konstanz der Bodenatmung als Voraus- setzung weiterer Versuche	16
IV. Orientierende Versuche über den Verlauf und die Einflüsse auf die Intensität der Boden- atmung	17
1. Die Kohlendioxydentwicklung in Abhängig- keit von der Bodenmenge	17
2. Die Abhängigkeit der Bodenatmung von der Zeit	20
3. Die Auswirkung des Feuchtigkeitsgehaltes auf die Bodenatmung	22
4. Die Temperaturabhängigkeit der Bodenatmung	23
5. Der Einfluss der Bodenreaktion auf die Bodenatmung	25
V. Praktische Untersuchungen von Böden auf ihre Phosphorsäurebedürftigkeit	26
1. Die Bedeutung der Phosphorsäure für die Bodenmikroben	26
2. Die Durchführung der Mikrodüngung	27
3. Die Herstellung von Nährsalzlösungen	28

	Seite
4. Versuche zur Ermittlung der geeigneten Phosphorsäurekonzentration	38
5. "Modellversuche" mit Quarzsand und Mikrobenreinkulturen	44
6. Düngungsversuche mit verschiedenen Phosphaten	46
7. Untersuchung lufttrockener Mineral- und Moorböden	48
8. Untersuchung frischer Moorböden und Vergleich der Ergebnisse mit denen der Laktatmethode	51
9. Versuche zur Prüfung der Notwendigkeit einer Vollnährlösung ohne Phosphat (V-P)	54
10. Prüfung von Proben eines Düngungsversuches mit verschiedener organischer Düngung	56
11. Untersuchung von Proben eines Phosphorsäuredauerdüngungsversuches	57
12. Untersuchung der Proben von Felddüngungsversuchen anmooriger Böden und Moorböden auf ihre Phosphorsäurebedürftigkeit und Vergleich der Ergebnisse mit denen der Laktatmethode	60
VI. Abhängigkeit der Atmung und Stickstoffbindung von Azotobacter chroococcum vom Phosphorsäuregehalt des Bodens	63
VII. Diskussion der Ergebnisse	66
VIII. Zusammenfassung	69
IX. Literaturverzeichnis	I-V

I. E i n l e i t u n g

Seit Justus von LIEBIG die Bedeutung der mineralischen Düngung für die Ernährung der Pflanzen erkannte hatte, haben sich viele Forscher bemüht, den Gehalt des Bodens an pflanzenaufnehmbaren Nährstoffen zu bestimmen, um daraus Rückschlüsse auf die Düngedürftigkeit ziehen zu können.

Der erste Schritt zur Lösung dieser Frage war die Durchführung von Felddüngungs- und Gefässversuchen. Sie stellen zweifellos die natürlichsten aller Methoden dar, deren wir uns zur Ermittlung der Düngedürftigkeit bedienen. Abgesehen von der Arbeit und der Zeit, die für solche Versuche verwendet werden müssen und die es unmöglich machen, sich von der Düngedürftigkeit grosser Bodenflächen zu unterrichten, können sie den augenblicklichen Düngungszustand eines Bodens nicht angeben.

Infolge der genannten Mängel hat man dann noch nach anderen Methoden gesucht, um die Düngedürftigkeit eines Bodens bzw. den Düngerbedarf einer Pflanze zu bestimmen. Hierzu gehören die Keimpflanzenmethode nach NEUBAUER-SCHNEIDER (1, 2), die ebenfalls die Pflanze zur Bestimmung der Nährstoffe heranzieht, sowie verschiedene chemische Extraktionsverfahren, von denen nur diejenigen Bedeutung erlangten, die dem Lösungsvermögen der Pflanzen gleichzusetzende Lösungsmittel verwenden: z.B. die Methoden KÖNIG-HASENBAUMER (3), EDWARDS-MANN-FRESENIUS (4), DIRKS-SCHEFFER (5) und DREYSPRING-HEINZ (6).

Von diesen wiederum erlangte die Laktatmethode von KÖDLER und RIEHM (7) grössere Bedeutung. Sie wird heute am häufigsten angewandt und hat alle übrigen Verfahren, vor allem auch biochemische Methoden (Azotobacter-Methode, Aspergillus niger-Methode), bei denen die Nährstoffe auf chemischen Wege aus dem Boden gelöst und dann mit Hilfe von Mikroorganismen bestimmt werden, verdrängt.

Die heute allgemein anerkannte und gebräuchliche Laktatmethode stimmt zwar bei der Prüfung des Nährstoffgehalts von Mineralböden gut mit den Ergebnissen des Felddüngungsversuches überein, doch trifft das nicht in demselben Maße für organogene Böden zu. Da aber die Untersuchung dieser Bodentypen und Bodenarten in unserer Zeit sehr bedeutsam geworden ist, haben HOFFMANN und STEINFATT (8) versucht, die NEUBAUER- bzw. die Laktatmethode für die Untersuchung der humosen und vor allem der Moorböden abzuändern bzw. weiter auszubauen, zumal spezielle Verfahren für die genannten Böden nicht bestehen.

II. Ein neuer Gesichtspunkt zur Ermittlung der Phosphorsäuredüngebedürftigkeit von Böden

Vorliegende Untersuchungen zielen nicht darauf hin, ein bereits ausgearbeitetes Verfahren abzuändern bzw. umzugestalten, sondern gehen von einem völlig neuen Gedanken aus. Durch die vor kurzer Zeit veröffentlichte Methode von ISERMAYER (9) zur Bestimmung des durch Mikroorganismenaktivität im Boden gebildeten Kohlendioxyds wurde die Möglichkeit einer schnellen und exakten Erfassung der Bodenatmung geschaffen. Zugleich war damit die Bestimmung von Intensitätsänderungen der Atmungsgrösse bzw. deren Abhängigkeit von äusseren Einflüssen, wie z.B. vom Nährstoffgehalt des Bodens, möglich. In dieser Richtung bewegt sich der Grundgedanke unserer Arbeit.

Die Mikroorganismen des Bodens benötigen im allgemeinen dieselben Nährstoffe wie die höheren Pflanzen. Je mehr diese

in ausreichendem Maße vorhanden sind, desto intensiver wird ihr Wachstum, ihre gesamte Lebensaktivität und damit auch ihre Atmung sein. Theoretisch müsste also bei Mangel eines Elementes im Boden, z.B. von Phosphor, nach Zugabe von Phosphat die Atmung der Bakterien und Pilze intensiver werden. Inwieweit dieser Umstand für eine Beurteilung des Nährstoffzustandes der Mineral- und Moorböden ausgewertet werden kann, soll in vorliegender Arbeit geprüft werden.

Das Prinzip des neuen Verfahrens entspricht dem Düngungsversuch. Es wird das durch eine bestimmte Bodenmenge gebildete Kohlendioxyd in Vergleich gesetzt zu der durch die gleiche Bodengabe plus Düngerphosphorsäure entwickelten CO_2 -Menge.

Die Durchführung der Versuche soll erstens in Form des Mangelversuches geschehen, wobei dem Boden eine Vollnährlösung ohne den zu prüfenden Nährstoff (also hier der Phosphorsäure) zugesetzt wird, und zweitens in Form eines Volldüngungsversuches, bei dem der Boden mit einer Vollnährlösung, die auch Phosphorsäure enthält, versehen wird. Der Versuch gleicht im Prinzip den mikrobiologischen Düngungsversuchen von PCSCHENRIEDER und WANSART (10), sowie von SEKERA (11).

Steigende Phosphorsäuregaben sollen in unserem Falle eine Steigerung der Kohlendioxydentwicklung bewirken, ähnlich wie bei der Aspergillus-Methode die Myzelerträge erhöht wurden.

Bereits früher wurde besonders von STOKLASA (12) und HESSE-LINE VAN SUCHTELEN (13) u.a. versucht, die Böden einfach nach der Höhe ihrer Bodenatmung zu klassifizieren. Unter Bodenatmung versteht man die in einer bestimmten Zeit von einer bestimmten Bodenmenge ausgeschiedene Kohlendioxydmenge. Diese Versuche scheiterten, da die Bodenatmung nicht als sicherer Maßstab für die Atmungsintensität der Mikroorganismen gelten kann, wie ENGEL (14) bemerkt: "Eine bestimmte Kohlendioxydmenge rührt entweder von einer grossen Menge Bakterien her mit nur geringer Aktivität, oder aber von einer geringen Anzahl mit intensivem Stoffumsatz." Mit dem reinen Vergleich

der Atmungsgrößen wird der Einfluss der Aussenfaktoren, der eine erhebliche Rolle spielt, überhaupt nicht hinreichend berücksichtigt.

Schon vor rund 100 Jahren erkannte man die Ausscheidung von Kohlendioxyd aus dem Boden. Die ersten Angaben darüber machten BOUSSINGAULT und LÉWY (15). Sie fanden in 30 cm Tiefe im Sandboden 18 bis 80, in Gartenerde 54, in Muschelkalkerde 7 und in feuchter Wiesenerde 10 cbm CO₂/ha.

Dass diese Kohlensäure in erster Linie von den im Boden lebenden Mikroorganismen stammt, wurde ebenfalls schon 1877 von SCHLÖSING und MÜNTZ (16) bewiesen. Chloroformzusatz, sowie das Erhitzen des Bodens auf 100° C, führten zu einer fast völligen Einstellung der Kohlendioxydentwicklung. Andere Forscher bestätigen diese Befunde, u.a. WOLLNY (17), v.FODOR (18), DEHÉRAIN und DEMOUSSY (19), sowie WESTHUES (20).

Jedoch unterbleibt in sterilisierter Erde die Kohlendioxydentwicklung nicht gänzlich. So entwickelte nach SEWERIN (21) sterile Erde in 30 Tagen 0.2808 g und beimpfte Erde 7.636 g Kohlendioxyd. Erwähnt muss hier jedoch werden, dass auch die Pflanzenwurzeln Kohlendioxyd ausscheiden, was sich wohl im Freiland bemerkbar macht, für unsere Laboratoriumsversuche (mit gesiebten Böden) aber nicht in Frage kommt.

Man kann also wohl behaupten, dass die überwiegende Menge des vom Boden ausgeschiedenen Kohlendioxyds von der Atmung der Mikroorganismen stammt. Die Grösse der Kohlendioxydproduktion, die Atmungsintensität, ist als Ausdruck der biologischen Aktivität heute allgemein anerkannt.

III. Die Methodik zur Bestimmung der Atmungsgrösse

1. Überblick über die verschiedenen Verfahren

In der Literatur sind eine Reihe von Verfahren zur Bestimmung der Bodenatmung beschrieben worden. Teils handelt es sich um Versuchsanordnungen für Freilanduntersuchungen, teils um Laboratoriumsmethoden. Die Messung im Freiland hat den Vorzug, dass sie die Verhältnisse im natürlichen Boden erfasst und den Nachteil, dass die Faktoren, die das Leben der Mikroorganismen beeinflussen, nicht konstant gehalten werden können.

Einer der ersten, der eine Bestimmung im Freiland durchführte, war LUNDEGÅRDH (22). Seine Versuchsanordnung war noch sehr einfach, stellte aber trotzdem das Vorbild für später entwickelte Anordnungen dar. Ein glockenartiges Gefäss mit einer kohlendioxydabsorbierenden Substanz wird mehrere Zentimeter in den Boden gedrückt. Mit im Prinzip ähnlichen Apparaturen arbeiteten FEHER (23) und SCHATNOW (24).

Da Freilandmessungen für unsere Untersuchungen nicht in Frage kommen, seien sie hier nur kurz erwähnt: z.B. die Methoden von HASELHOFF und LIEHR (25), GORBUNOW, SCHKOLNIK und MOROSOWA (26), KOEFF (27, 28), HUMFELD (29) und FREECKS (30).

Weit mehr Interesse beanspruchen die Verfahren zur Bestimmung der Bodenatmung, die im Laboratorium durchgeführt werden können. Vor allem für Messungen mit geringen Unterschieden und zur Durchführung von Reihenuntersuchungen sind die im Freilandmessungen vorzuziehen, da die Verhältnisse weit besser definiert sind.

Nach WOLLNY (31) war es HESSELING VAN SUCHTELEN (13), der sich sehr eingehend mit der Bodenatmung beschäftigte, ferner STOKLASA (32), NIKLEWSKI (33), SEWERIN (34), LEINERMAN und WIESSMANN (35), MARSH (36), HECK (37), WAKSMAN und STARKY (38), BROWN (39), SINGH und MATHUR (40), GERING (41),

SCHOLLENBERGER (42), sowie STAPP und BUCKSTEGG (43a). Darauf kann hier nicht näher eingegangen werden.

In neuerer Zeit wurde ein Gerät entwickelt, das ob seiner Genauigkeit sehr geschätzt wird, der Ultrarotabsorptionsschreiber (URAS). KOEPF(28) verwendet ihn mit gutem Erfolg; für ein gewöhnliches Laboratorium ist seine Anschaffung allerdings zu kostspielig. Erwähnt sei hier noch das recht brauchbare Verfahren von KAPPEN (43). Dabei wird die Bodenprobe in eine Pulverflasche gefüllt und ein trichterförmiges, mit einer etwa 3n Natronlauge befeuchtetes Filtrierpapier am Glasstopfen frei über den Boden hängend mittels eines angekitteten Häckchens befestigt. Das bodenbürtige Kohlendioxyd wird innerhalb von 3 bis 12 Stunden absorbiert. Zur Kohlendioxydbestimmung wird das Filtrierpapier aus dem Gefäß genommen, in das Gasentwicklungsgefäß des SCHEIBLERschen Apparates gebracht und dort das durch Zersetzung des Natriumkarbonates freigewordene Kohlendioxyd gasvolumetrisch gemessen. Aber auch diese Methode hatte einige Nachteile und ist vor allem doch etwas umständlich.

Die von ISERMEYER entwickelte Apparatur ist wohl die brauchbarste, die es zur Zeit gibt: "An den Deckel von Einkochgläsern (Inhalt 1 Liter) werden mit Siegelack Drahtkäfige gekittet, in welche flache Glasschalen von 1 cm Höhe und 8 cm Durchmesser zur Aufnahme des Bodens gestellt werden. Auf den Boden der Einkochgläser wird nun eine abgemessene Menge eingestellter Barytlauge gegeben. Nach ^{einer} gewisser Versuchszeit wird die unverbrauchte Lauge unmittelbar in den Gläsern durch Titration mit Salzsäure (Phenolphthalein als Indikator) bestimmt."

Von allen beschriebenen Methoden erschien uns das Verfahren von ISERMEYER für unsere Untersuchungen als das geeignetste.

2. Die neue Versuchsanordnung und die Durchführung der Kohlendioxydbestimmung

Die Versuchsanordnung von ISERMAYER zur Bestimmung der Atmung im Boden wurde nicht genau übernommen, sondern so abgeändert, wie es unseren Versuchszwecken am dienlichsten erschien (s. Abb. 1). Die Verwendung von einfachen Einkochgläsern (Inhalt 1 Liter), verschliessbar mit Gummiring und Metallklammer, wird beibehalten. Anstelle der Aufhängevorrichtung wird ein Dreifuss verwendet, der aus starkem Messingdraht besteht und dessen Füsse von unten zugeschmolzenen Glasröhrchen umkleidet werden. Der Dreifuss kann selbst bil-

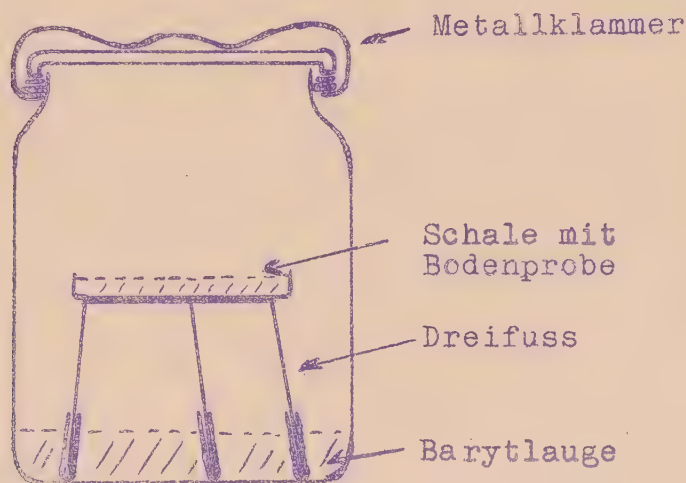


Abb. 1 Kohlensäurebestimmungsapparat

lig hergestellt werden: von einem einfachen Tondreieck, wie es im chemischen Laboratorium zum Erhitzen von Schmelztiegeln dient, werden die Drahtgewinde nach einer Seite umgebogen, jedes in ein unten zugeschmolzenes Glasröhrchen gesteckt und der Zwischenraum mit Paraffin ausgegossen. Auf den Dreifuss wird eine Glasschale von 1,5 cm Höhe und 7,5 cm Durchmesser (Boden oder Deckel einer Petrischale) mit der zu

untersuchenden Bodenprobe gelegt.

Nach Beschickung der Gefäße mit den Bodenproben werden je nach Bedarf 15 oder 20 ccm 1/10n Bariumhydroxydlösung mit einer geeichten Pipette eingebracht. Für einen Reihenversuch ist stets dieselbe Pipette zu verwenden.

Nach Beendigung des Versuchs wird die unverbrauchte Lauge durch Titration mit 1/10n Salzsäure direkt im Glas bestimmt. Zur Titration dient eine automatische 25 ccm Bürette. Als Indikator eignet sich am besten Phenolphthaleinlösung (nach MERCK Din 800).

Bei der Titration muss besonders auf ständiges Umschütteln geachtet werden. Ein starkes Einfließen der Säure an einer Stelle verändert den pH/^{Wert} an dieser infolge langsamer Diffusion der Säure ins stark saure Milieu und kann dort zum Lösen des Bariumkarbonates führen.

Alle Versuche, die zur Orientierung dienten oder bei denen absolute Kohlendioxydmengen von Interesse waren, wurden im Thermostaten bei 27° C durchgeführt.

3. Versuche zur Kontrolle möglicher Fehlerquellen

Da die Methode von ISERMAYER modifiziert wurde, war es in erster Linie notwendig, mögliche Fehlerquellen zu suchen, um ein zuverlässiges Bild von der Genauigkeit der Methodik zu erhalten.

a) Prüfung auf den Dichtverschluss der Gläser

Beim eigentlichen Verwendungszweck der Gläser, Nahrungsmittel zu konservieren, um sie genussfähig zu erhalten, ist der dichte Verschluss dadurch garantiert, dass beim Einkochen ein Vakuum geschaffen wird, das den Deckel ansaugt. Bei unserer Verwendung ist das nicht, bzw. nur in

sehr geringem Maße, der Fall. ISERMEYER prüfte den Verschluss und fand im Verlauf von 28 Tagen keine Zunahme von Kohlendioxyd in der Lauge. Dieses Ergebnis konnte bestätigt werden.

35 Gläser wurden mit 20 ccm 1/10n Barytlauge versetzt, verschlossen und nach je 3 Tagen 5 Kontrollen titriert.

Tab.1 Prüfung auf Dichte der Gläser
(Zahlenwerte = verbrauchte ccm
1/10n Ba(OH)₂)

Titration nach Tagen							
Paral- lelen	3	6	9	12	15	18	21
1	0.911	0.913	0.913	0.912	0.914	0.905	0.916
2	0.910	0.915	0.909	0.911	0.913	0.911	0.911
3	0.900	0.921	0.911	0.913	0.912	0.915	0.912
4	0.907	0.905	0.912	0.916	0.921	0.915	0.912
5	0.913	0.911	0.910	0.913	0.910	0.919	0.914
Mit- telw.	0.905	0.913	0.911	0.913	0.914	0.913	0.913

Schon die Beobachtung, dass bei der Atmungsmessung der Böden mit grosser Kohlendioxydentwicklung ein Unterdruck entsteht, der den Deckel des Gefässes schwer abheben lässt, spricht für einwandfreien Verschluss.

Da die Dauer der Versuche fast nie 8 Tage überschreitet, erübrigt sich eine Prüfung über einen noch grösseren Zeitraum als 21 Tage.

b) Bestimmung des Blindwertes und des Titrationsfehlers

Beim Ansetzen der Versuche enthalten die Gefässe eine bestimmte, dem Gehalt der Luft entsprechende Kohlendioxydmenge. Zudem wird während des Einpipettierens Kohlendioxyd absorbiert, weshalb die Reihenversuche mit der gleichen Pipette ausgeführt werden müssen (gleiche Ausflussgeschwindigkeit!). Diese Fehlerquelle kann jedoch durch Ansetzen von Blindversuchen eliminiert werden, so dass besser von einem "Blindwert" gesprochen wird.

Bei der Titration ist es kaum möglich, den Luftzutritt während der Messung zu verhindern, es sei denn, die Versuchsanordnung würde in starkem Maße verwickelt. Um die Grösse dieser Fehlerquelle erfassen zu können, ist es unbedingt notwendig, gleichmässig zu arbeiten, d.h. die Zeit vom Öffnen des Gefässes bis zum Ende der Titration nicht über 30 sec Unterschied auszudehnen. Bei einiger Übung ist diese Voraussetzung ohne weiteres zu verwirklichen. Die Dauer der Titration beträgt ungefähr eine Minute. Das entspricht nach den Ergebnissen von ISERMEYER, die wir bestätigen können, einem Fehler von 0.01 mval, da eine lineare Zunahme des Fehlers von 0.01 mval in der Minute festgestellt wurde.

Nun wurde ein Versuch mit 10 Kontrollen durchgeführt, die Gefässe mit 10 ccm 1/10n Barytlauge versetzt, verschlossen und nach 48 Stunden titriert. Das Ergebnis schliesst zugleich den Titrationsfehler mit ein, der bei der Verwendung von Phenolphthalein als Indikator entsteht.

Ein zweiter Versuch erbrachte genau denselben mittleren Blindwert von 1.98 ± 0.04 mg Kohlendioxyd.

Dieser Wert muss bei sämtlichen genauen Bestimmungen subtrahiert werden, sofern es sich nicht um vergleichende Untersuchungen handelt, bei denen nur die relativen Unterschiede interessieren. Es empfiehlt sich deshalb, von

Tab.2 Blindwertberechnung bei der Kohlendioxydbestimmung der Luft

Titrationen	zur Rücktitration verbrauchte 1/10 n FCl (ml)	dies entspricht gebundenem 1/10n Ba(OH) ₂	CO ₂ - Gehalt mg
1	9.12	0.88	1.94
2	9.08	0.92	2.02
3	9.10	0.90	1.98
4	9.11	0.89	1.96
5	9.10	0.90	1.98
6	9.09	0.91	2.00
7	9.08	0.92	2.02
8	9.11	0.89	1.96
9	9.08	0.92	2.02
10	9.12	0.88	1.94
Mittelwert	9.10 $\pm$ 0.02	0.90 $\pm$ 0.02	1.98 $\pm$ 0.04

Zeit zu Zeit einen Blindversuch durchzuführen, bzw. bei Reihenuntersuchungen Gefäße ohne Bodenproben mit anzusetzen.

c) Genauigkeit der Erfassung der Kohlendioxydmenge

Bei all dieser Einfachheit der Bestimmungsapparatur kann die wichtigste Forderung nicht erfüllt sein: die völlige Absorption des durch die Mikroorganismen entwickelten Kohlendioxyds durch die Barytlauge. Das Kohlendioxyd ist zwar schwerer als Luft und wird demnach zu Boden sinken, es muss jedoch erst aus den Schalen mit den Bodenproben herausdiffundieren.

Aus diesen Grund wurde eine genau bestimmte Kohlendioxydmenge vorgegeben und dann titriert. Diese Kontrolle in der sonst üblichen Versuchsanordnung durchzuführen, gelang nicht. Es musste Calciumkarbonat mit Schwefelsäure

zur Reaktion gebracht werden, nachdem das Glas bereits verschlossen war. Diese Reaktion konnte nie so reguliert werden, dass keine Schwefelsäuretröpfchen aus der niedrigen Schale auf den Boden mit Bariumhydroxydlösung gespritzt wären. Selbst die Reaktion von im Wasser aufgeschwemmtem Calciumkarbonat mit der Schwefelsäure war auch bei langsamem Neigen des schwefelsäurehaltigen Röhrchens immer noch so heftig, dass das hochgetriebene Gas Schwefelsäuretröpfchen mit sich riss. Es blieb nichts anderes übrig, als die Versuchsanordnung abzuändern und zwar in dem Maße, dass die Versuchsbedingungen ungünstiger waren, als bei den üblichen Versuchen.

Direkt auf den Boden wird ein Becherglas gestellt, das fast die Höhe des Weckglases besitzt (s. Abb. 2!). In dieses wird eine auf 1/100 mg genau gewogene Menge von 50 mg Calciumkarbonat mit 3 Tropfen dest. Wasser aufgeschwemmt und ein 5 ccm fassendes Reagenzglas, das etwa 4 ccm 20 % Schwefelsäure enthält, schräg gegen die Becherglaswand gestellt.

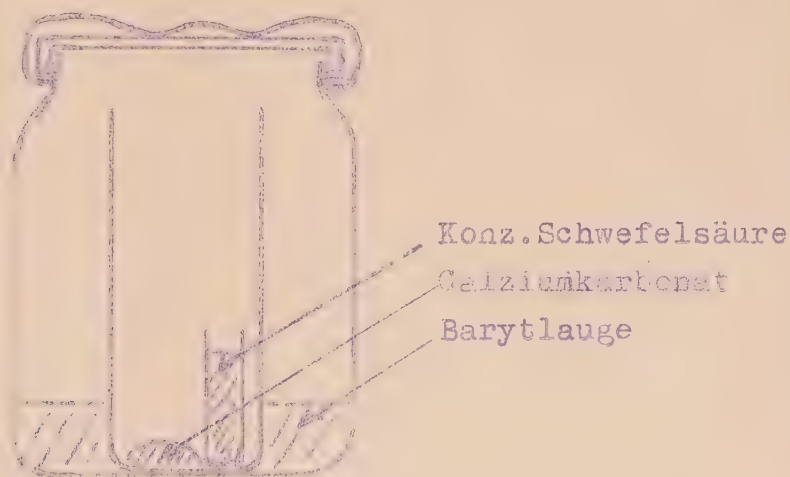


Abb. 2 Versuchsanordnung für CO_2
Genauigkeitsbestimmung

Das Glas wird verschlossen, durch langsames Neigen die Schwefelsäure aus dem Röhrchen geschüttet und dadurch mit dem Calciumkarbonat zur Reaktion gebracht. Die Höhe des Becherglases verhindert das Ausspritzen von Schwefelsäure.

Tab.3 Genauigkeitsversuch

Kontrolle	CO ₂ in mg
1	23.36
2	23.32
3	23.36
4	23.30
5	23.32
Mittelwert	23.33 ± 0.03

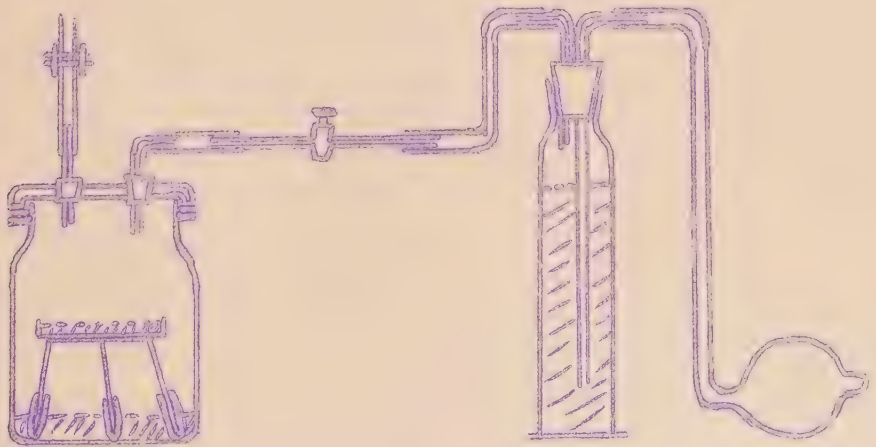
Trotz der Benachteiligung gegenüber der sonstigen Versuchsanordnung, bei der die Höhe der Glasschalenwand höchstens 2 cm beträgt, waren die Ergebnisse befriedigend.

50 mg Calciumkarbonat entsprechen einer Kohlendioxydmenge von 21.98 mg. Wird dazu der Blindwert von 1.98 mg aus der Fehlerberechnung addiert, so ergibt sich ein theoretischer Wert von 23.98 mg Kohlendioxyd. Das Mittel der gefundenen Menge beträgt 23.33 mg Kohlendioxyd und ergibt einen Verlust von 0.65 mg Kohlendioxyd oder von 2.8 %, bezogen auf die Gesamtmenge, was angesichts der hier erschwerten Umstände der Kohlendioxydabsorption durchaus tragbar erscheint.

d) Über den Einfluss des während der Versuche abnehmenden Sauerstoffgehaltes

Die Versuchsanordnung zur Bestimmung der Bodenatmung stellt eine in sich geschlossene Apparatur dar. Da bei der Atmung der Mikroorganismen, die in den Bodenproben enthalten sind, Kohlendioxyd ausgeschieden und von der Mehrzahl der Bakterien Sauerstoff verbraucht wird, verringert sich im Verlauf der Versuchszeit der Sauerstoffgehalt umso stärker, je länger der Versuch dauert. Das Kohlendioxyd wird fortwährend absorbiert, kann also kei- nenschädigenden Einfluss ausüben. Es könnte jedoch bei starker Atmung und grossen Bodenmengen die Sauerstoff- verdünnung der Gefässluft die Atmungsintensität beein- flussen, wenn auch noch völlig ausreichende Sauerstoff- mengen für die Mikrobenatmung zur Verfügung stehen.

Aus diesen Erwägungen wurden Vergleiche mit einer folgen- dermaßen zusammengesetzten Versuchsanordnung durchgeführt (s. Abb. 3): es wird ein Weckglas verwendet, dessen Deckel zwei Öffnungen besitzt. Die eine, aus der ein kurzes Glas- rohr mit anschliessendem kurzen Stück Gummischlauch führt.



· Abb. 3 Atmungsgefäss mit Sauerstoffzufuhr

kann durch eine Metallklemme verschlossen werden. Durch die zweite Öffnung wird die Verbindung mittels eines Glasröhrchens (mit einem Glashahn) mit einer mit Natronkalk gefüllten, hohen Flasche (Zylinder) hergestellt. In die Flasche läuft ein zweites Glasrohr, das mit einem Gummiballon als Luftpumpe verbunden ist, bis auf den Boden.

Je 3 dieser Apparate und 3 Gläser der üblichen Anordnung wurden mit 50 g Boden und Lauge beschickt, verschlossen und nach 4 Tagen bzw. bei weiteren Versuchen nach 8 und 12 Tagen titriert. Von Bodenproben wurde ein guter Mineral- und ein Niedermoorboden verwendet. In die "Sauerstoffgefäße" wurde dreimal täglich kohlendioxydfreie Luft durchgepumpt, nachdem Vorversuche gezeigt hatten, dass dabei kein Kohlendioxyd aus dem Gefäß getrieben wird.

Tab 4. Prüfung auf den Einfluss der Sauerstoffabnahme

Boden- art	Versuchs- dauer (in Tagen)	ohne O ₂ -Zufuhr CO ₂ in mg	mit O ₂ -Zufuhr CO ₂ in mg
Mine- ral- boden	4	18.72 18.32 18.21	18.51 18.47 18.94
	Mittelw.	18.41	18.64
	8	30.29 29.45 29.66	29.30 29.72 29.55
	Mittelw.	29.80	29.52
	12	35.21 34.79 34.88	34.70 34.50 34.93
	Mittelw.	34.96	34.71

Boden- art	Versuchs- dauer (in Tagen)	ohne O ₂ -Zufuhr CO ₂ in mg	mit O ₂ -Zufuhr CO ₂ in mg
Nieder- moorboden	4	12.24 12.71 12.63	12.10 12.54 12.88
	Mittelw.	12.52	12.50
	8	18.09 17.87 18.23	18.35 17.97 18.30
	Mittelw.	18.06	18.20
	12	22.60 23.01 22.77	23.10 22.75 22.87
	Mittelw.	22.79	22.90

Die Versuchsergebnisse zeigen keinerlei Unterschiede ausserhalb der Fehlergrenze, wodurch bewiesen sein dürfte, dass bei nicht wesentlich grösseren Bodenmengen als 50 g und keiner allzulangen Versuchszeit die Sauerstoffverdünnung in den Gefässen noch keinen hemmenden Einfluss auf die Intensität der Bodenatmung ausübt.

4. Die Konstanz der Bodenatmung als Voraussetzung weiterer Versuche

Nachdem die ersten Versuche ein recht günstiges Ergebnis gezeigt hatten, wurde untersucht, inwieweit die Bodenatmung konstant ist. Diese Feststellung gilt als Voraussetzung für weitere Versuche.

Je 10 Parallelproben eines Mineralbodens und eines Niedermoorbodens wurden 2 Tage bei 22° C angesetzt. Beide Böden waren gesiebt worden und zwar der Mineralboden mit einem

5 mm Sieb, der Moorboden mit einem 2 mm Sieb. Die Bodenmenge betrug einheitlich 40 g.

Tab. 5 Prüfung zweier Böden auf ihre Atmungskonstanz

Parallelproben	Mineralboden CO ₂ in mg	Niedermoorboden CO ₂ in mg
1	11.22	8.64
2	11.48	8.51
3	11.77	8.55
4	11.70	8.42
5	11.92	8.18
6	11.35	8.80
7	11.31	8.93
8	12.10	8.58
9	11.13	8.47
10	11.75	8.58
Mittelwert	11.57 ± 0.53	8.57 ± 0.33

Die Berechnung des mittleren Fehlers nach der GAUSSschen Methode ergibt folgende Werte:

$$m_{\text{Mineralb.}} = \frac{0.8929}{90} = 0.0992 \text{ mg}$$

$$m_{\text{Moorb.}} = \frac{0.3572}{90} = 0.04 \text{ mg}$$

Daraus folgt ein relativer Fehler von:

$$r_{\text{Mineralb.}} = \frac{0.0992}{11.57} = 0.0085$$

$$r_{\text{Moorb.}} = \frac{0.0439}{8.57} = 0.0051$$

Die Ergebnisse erweisen sich als durchaus brauchbar. Bemerkenswert ist der Unterschied zwischen den Fehlergrößen beider Böden. Die feinere Verteilung des Moorbodens bewirkt eine grössere Konstanz der Bodenatmung.

Auf einen möglichst g l e i c h g r o s s e n V e r -
t e i l u n g s g r a d der Böden ist deshalb unbedingt
zu achten!

IV. Orientierende Versuche über den Verlauf und die Einflüsse auf die Intensität der Bodenatmung

Bevor mit den eigentlichen Untersuchungen zur Bestimmung der
Düngebedürftigkeit von Böden begonnen werden konnte, musste
der Einfluss verschiedener Faktoren und der Verlauf der At-
mung geklärt werden, um die Versuche in möglichst günstiger
Weise ansetzen zu können.

1. Die Kohlendioxydentwicklung in Abhängigkeit von der Boden- menge

Da die Gläser ein abgeschlossenes System darstellen und des-
halb den Bodenproben nur eine bestimmte, begrenzte Menge an
Sauerstoff zur Verfügung steht, ist es nicht gleichgültig,
welche Bodenmenge angesetzt wird.

Zu berücksichtigen ist auch, dass der Radius der Schalen
nicht beliebig grösser gewählt werden kann. Somit nimmt die
Höhe der Bodenschicht mit der Bodenmenge zu. Mit dieser Zu-
nahme ist aber eine Erschwerung der Gasdiffusion an die Ober-
fläche der Bodenschicht zu erwarten.

Zwei Versuchsreihen mit 4 verschiedenen Bodenmengen sollen
zeigen, welche Quantität am günstigsten ist. Ein Mineralbo-
den und ein Niedermoorboden wurden miteinander verglichen,
wobei die Versuchsdauer 48 Stunden betrug.

**Tab.6 Die Kohlendioxydentwicklung
verschiedener Bodenmengen
M i n e r a l b o d e n**

Parallel- proben	Bodenmenge			
	10 g	25 g	40 g	80 g
1	6.82	11.00	13.64	16.67
2	6.60	9.90	13.31	16.82
3	7.26	10.60	13.97	17.07
4	6.93	10.18	14.14	16.92
5	6.76	10.67	14.08	16.87
Mittelwert	6.87	10.47	13.82	16.87
CO ₂ in mg/g Boden	0.68	0.42	0.34	0.21

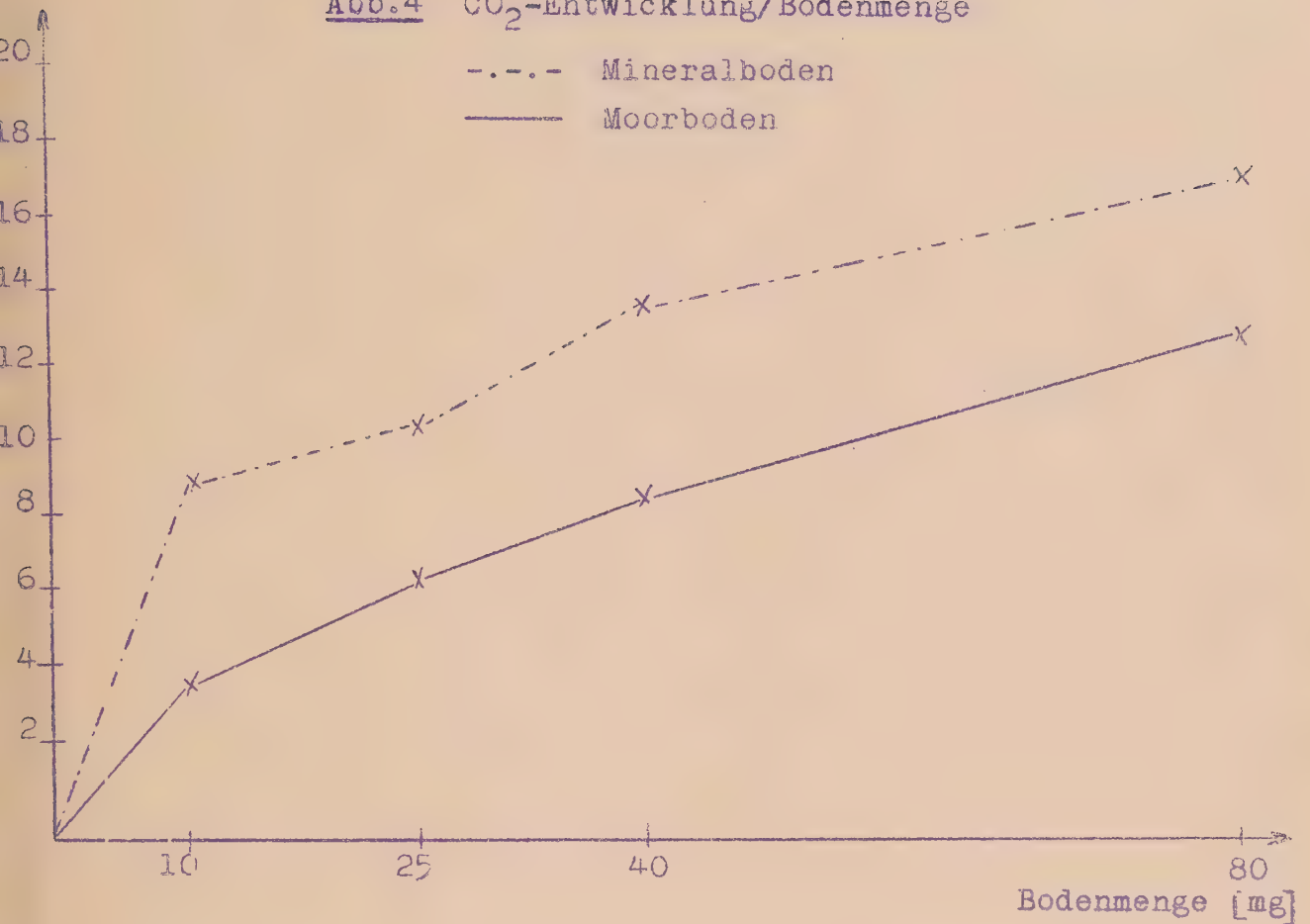
N i e d e r m o o r b o d e n

Parallel- proben	Bodenmenge			
	10 g	25 g	40 g	80 g
1	3.52	6.53	9.13	13.79
2	4.18	6.44	8.75	13.22
3	3.12	6.82	8.80	13.31
4	3.63	6.71	9.24	13.62
5	3.74	6.57	8.93	13.51
Mittelw.	3.63	6.61	8.97	13.49
CO ₂ in mg/g Boden	0.36	0.26	0.22	0.16

Aus den Versuchsergebnissen (s. Abb. 4, S. 20) ist zu ersehen, dass die Kohlendioxydentwicklung nicht mit der Zunahme der Bodenmenge in gleichem Maße ansteigt. Da die freie Oberfläche der Bodenproben gleichbleibt, sind die Bedingungen für die aeroben Bakterien und Pilze bei kleinen Bodenmengen relativ günstiger als bei grossen.

Die Verhältniszahlen der Kohlendioxydmenge in mg pro g Boden

Abb.4 CO₂-Entwicklung/Bodenmenge



zeigen, dass bei unserer Versuchsanstellung die optimale Menge 10 g wäre. Dabei sind die absoluten Kohlendioxydmengen jedoch recht gering. Um die Versuchsdauer nicht allzulange auszudehnen, werden stets 40 g Boden verwendet. Sofern bei den weiteren Versuchen nicht andere Mengen angesetzt wurden, ist die Quantität nicht mehr besonders angegeben.

2. Die Abhängigkeit der Bodenatmung von der Zeit

Um Genaueres über die Brauchbarkeit der Bodenatmung für unsere Untersuchungen aussagen zu können, musste die Kohlendioxydentwicklung in ihrer Abhängigkeit von der Zeit geprüft werden. SEWERIN (21) stellte schon fest, dass die Kohlendioxydentwicklung nicht proportional der Zeit zunimmt.

Die Annahme, dass die ausgeschiedene Kohlendioxydmenge nicht proportional der Zeit zunimmt, weil der Sauerstoffdruck in den Gefäßen allmählich geringer wird, wurde durch die oben beschriebenen Versuche mit den "Sauerstoffgefäßen" wenigstens für die ersten 12 Tage widerlegt. SEWERIN wandte ja ebenfalls eine Apparatur an, bei der über den Boden ständig ein Sauerstoffstrom hinwegstrich. Es liegt die Vermutung nahe, dass sich Stoffwechselprodukte anreichern und die Atmung hemmen. In der Natur liegt der Fall wesentlich anders; dort werden diese Abbauprodukte, sowie sie vom Organismus ausgeschieden sind, durch die stete Wasserströmung im Boden ausgewaschen oder vom Luftstrom weggeführt.

Das Hauptgewicht wurde auf die Messung der Kohlendioxydentwicklung in den ersten Tagen nach Ansetzen der Versuche gelegt, da bei zu langer Dauer jede Untersuchungsmethode unrationell wird.

Zwei Zeitversuche (s.Tab.7, S.22 und Tab.8, S.24) wurden mit guter Gartenerde und einem Niedermoorboden durchgeführt.

Tab.7 Zeitversuch bis 96 Stunden

M i n e r a l b o d e n

Titra- tion n. Stunden	Parallelproben (CO ₂ in mg)					Mittel- wert
	1.	2.	3.	4.	5.	
6	3.96	3.74	4.40	4.00	3.69	3.95
12	5.89	6.22	6.16	6.05	6.09	6.08
18	6.49	6.60	6.55	6.68	6.42	6.55
24	7.32	7.15	7.26	7.48	7.03	7.25
30	7.92	8.03	8.31	8.18	8.36	8.16
42	8.84	8.71	8.73	8.88	8.82	8.79
48	9.59	9.46	9.70	9.29	9.48	9.50
72	10.89	11.11	11.22	11.00	10.97	11.03
96	12.43	12.32	12.27	12.40	12.43	12.37

M o o r b o d e n

Titra- tion n. Stunden	Parallelproben (CO ₂ in mg)					Mittel- wert
	1.	2.	3.	4.	5.	
6	3.20	3.80	3.50	3.60	3.80	3.58
12	4.00	3.70	3.84	3.80	3.92	3.85
18	4.80	4.70	4.76	4.81	4.70	4.75
24	4.90	4.90	5.20	5.10	4.98	5.01
36	6.76	6.82	6.98	7.00	7.00	6.91
42	7.30	7.36	7.54	7.50	7.40	7.42
48	7.56	7.50	7.60	7.70	7.71	7.61
72	8.50	8.41	8.59	8.32	8.62	8.48
96	9.45	9.30	9.26	9.11	9.29	9.28

Tab.8 Zeitversuch über 20 Tage

M i n e r a l b o d e n

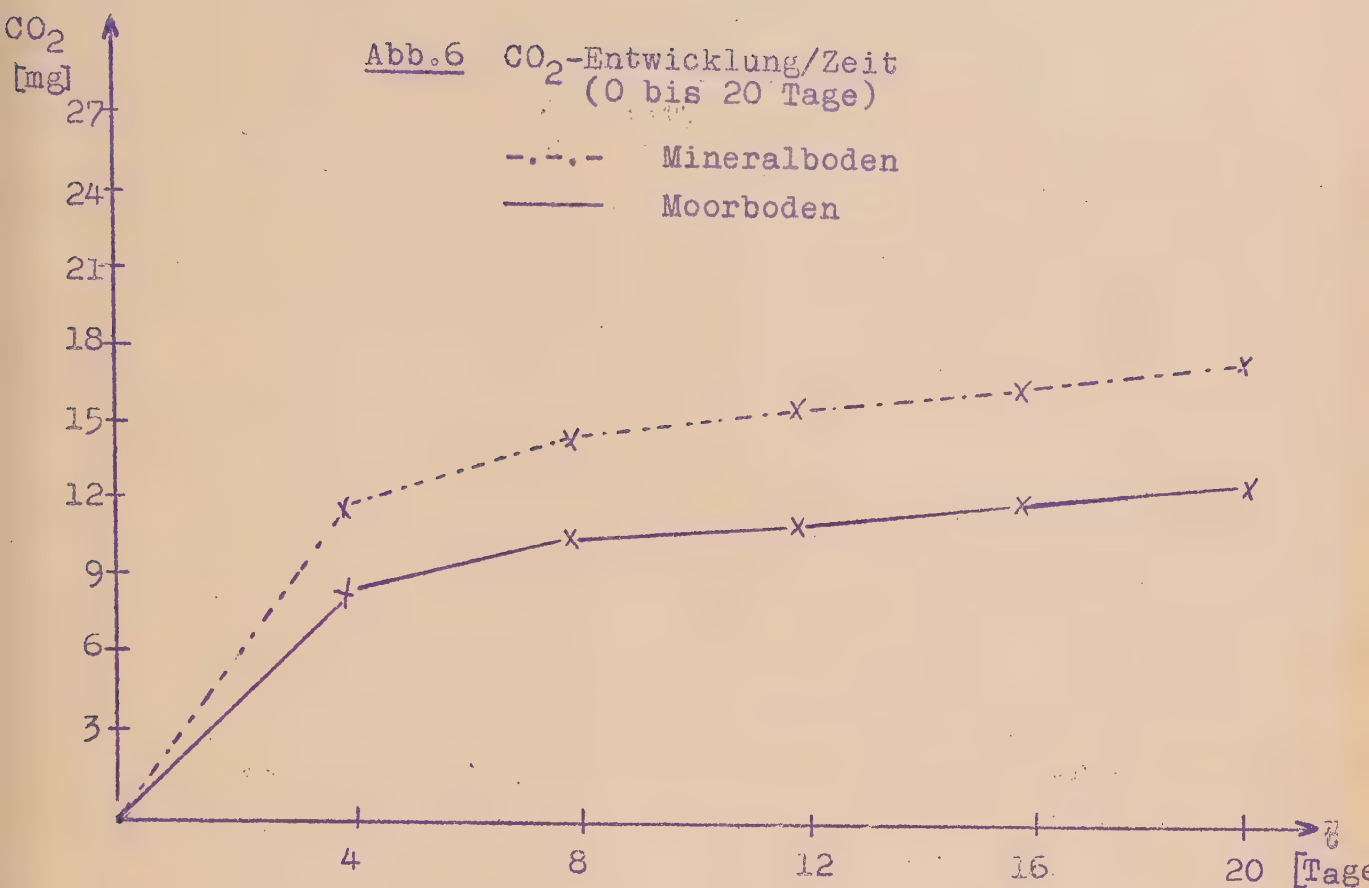
Titra- tion n. Tagen	Paralellproben (CO ₂ in mg)					Mittel- wert
	1.	2.	3.	4.	5.	
4	12.33	12.55	12.24	12.60	12.41	12.42
8	15.37	15.10	15.74	15.32	15.43	15.39
12	16.50	16.01	16.40	16.53	16.64	16.41
16	17.41	17.35	17.28	17.19	17.64	17.37
20	18.22	18.45	17.92	18.02	18.27	18.17

M o o r b o d e n

Titra- tion n. Tagen	Paralellproben (CO ₂ in mg)					Mittel- wert
	1.	2.	3.	4.	5.	
4	9.31	9.17	9.61	9.03	9.10	9.24
8	11.57	11.37	11.75	11.60	11.55	11.56
12	12.00	12.42	11.91	11.95	12.79	12.21
16	13.12	12.80	13.47	13.00	13.40	13.15
20	13.75	13.55	13.94	13.90	13.66	13.76

Die ausgeschiedenen Kohlendioxydmengen nehmen im Verlauf der Versuchsdauer nicht l i n e a r zu, wie aus dem Kurvenbild (s. Abb. 5, S. 23 und Abb. 6, S. 25) ersichtlich ist. Im gleichen Zeitintervall wird laufend immer weniger Kohlendioxyd ausgeatmet. Man könnte als Erklärung auch hier an die Wachstumsgesetzte von MITSCHERLICH denken, die einen ähnlichen Kurvenverlauf ergeben.

Da die Abnahme in den ersten Tagen mehr oder weniger grossen Schwankungen unterworfen ist, wurden als V e r - s u c h s d a u e r für die weiteren Untersuchungen 3, bzw. für weniger fruchtbare Böden 4 T a g e für günstig erachtet.



3. Die Auswirkung des Feuchtigkeitsgehaltes auf die Boden- atmung

SCHLÖSING (44) berichtet als erster von Versuchen über den Einfluss der Feuchtigkeit auf die Kohlendioxydbildung. Er setzte Proben mit verschiedener Erdfeuchtigkeit bei verschiedener Temperatur an und fand, dass eine Erhöhung des Wassergehaltes die deprimierende Wirkung niederer Temperatur ausgleicht.

STOKLASA und ERNEST (32) stellten bei einer Zunahme der Feuchtigkeit bis zu 50 % eine Erhöhung der Kohlendioxydpro-

duktion fest. Dasselbe konstatierten REINAU und KERTSCHER (45), sowie FEHER (46). Über den Einfluss des Wassergehaltes berichtet auch VAN SUCHTELEN (13). Während WEISSENBERG (47) keine genauen Angaben über die Steigerung der Kohlendioxydentwicklung durch höhere Feuchtigkeit macht, gibt FRERCKS (30) bei einer Erhöhung des Wassergehaltes von 66.8 % auf 71.6 % eine Zunahme der Kohlendioxydentwicklung von 294 mg auf 325 mg Kohlendioxyd pro qm und Stunde im Freiland an.

Inwieweit sich der Einfluss bei unseren Versuchen auswirkt, zeigen untenstehende Ergebnisse. Sie waren insofern wichtig, als später mit Nährsalzlösungen gedüngt werden sollte und dabei eine Änderung der Feuchtigkeit des Bodens hervorgerufen wird.

Die Bodenproben wurden vor dem Versuch 10 Stunden bei 40° C im Trockenschrank getrocknet, alsdann erhielten sie einen Zusatz verschiedener Mengen dest.Wassers. Die Versuchsdauer betrug 2 Tage.

Zur Bestimmung des Wassergehaltes wurden die Bodenproben 3 Stunden bei 105° C im Trockenschrank getrocknet und das Trockengewicht mit dem Nassgewicht verglichen.

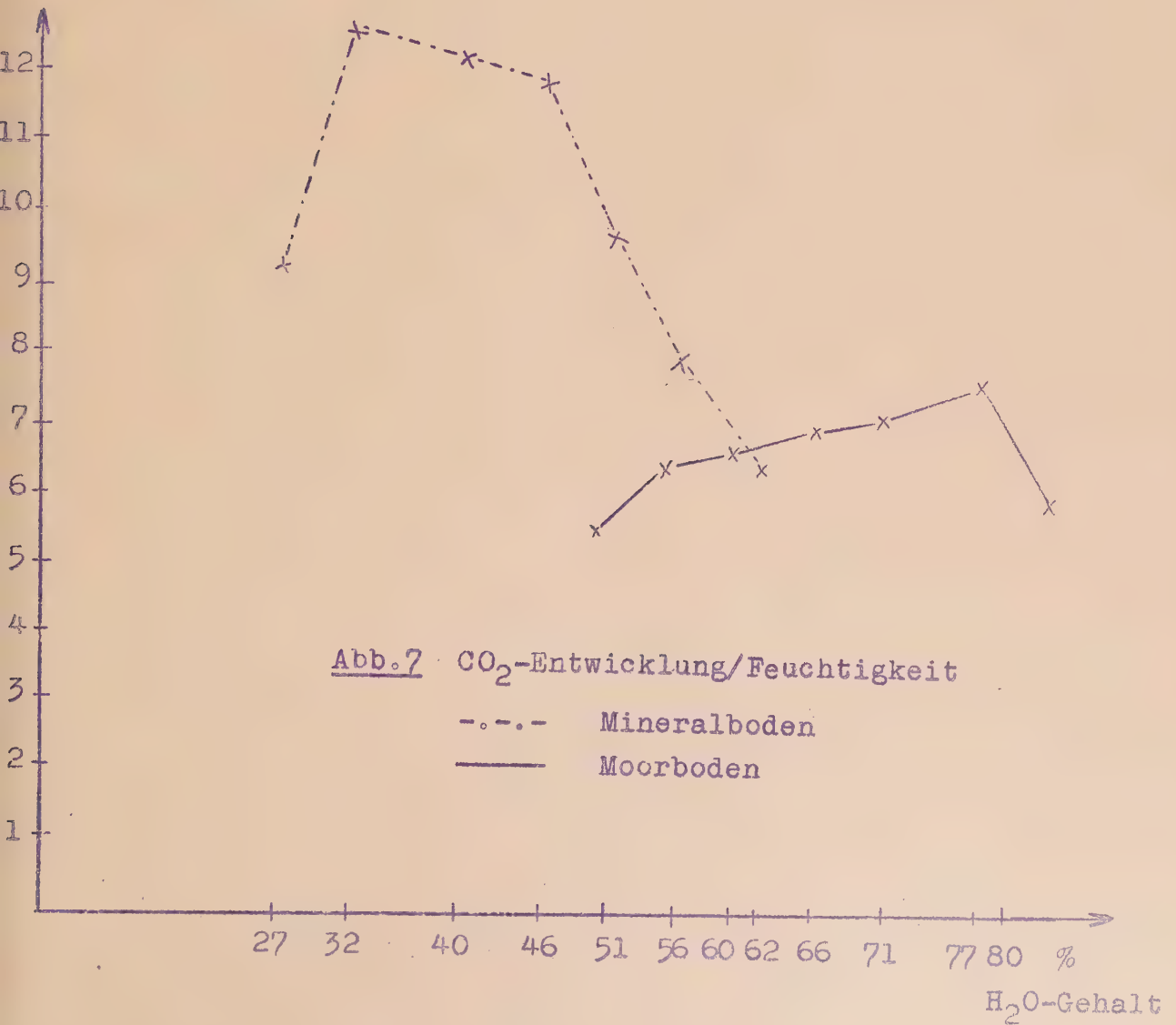
Tab.9 Die Bodenatmung in Abhängigkeit vom Wassergehalt

M i n e r a l b o d e n

Aqua dest. ccm	Wasser- gehalt in %	Parallelproben (CO ₂ in mg)					Mittel- wert
		1.	2.	3.	4.	5.	
0	27	9.59	9.46	9.70	9.29	9.48	9.54
5	32	12.98	12.80	12.87	13.02	12.92	12.91
10	40	12.43	12.32	12.86	12.54	12.49	12.53
15	46	12.32	12.27	12.43	11.88	11.92	12.16
20	51	9.76	10.03	9.90	9.83	10.12	9.92
25	56	8.04	8.19	8.23	7.98	8.00	8.09
30	62	6.72	6.54	6.79	6.45	6.39	6.57

Niedermoorboden

Aqua dest. ccm	Wasser- gehalt in %	Parallelproben (CO ₂ in mg)					Mittel- wert
		1.	2.	3.	4.	5.	
0	50	5.50	5.79	5.56	5.53	5.82	5.64
5	55	6.64	6.39	6.76	6.80	6.52	6.62
10	60	6.64	6.85	6.75	6.78	6.81	6.76
15	66	7.10	7.14	7.03	6.98	7.00	7.05
20	71	7.28	7.35	7.09	7.40	7.24	7.27
25	77	7.80	7.88	7.80	7.91	7.76	7.83
30	83	6.10	6.18	6.12	6.04	6.01	6.09



Die Kohlendioxydentwicklung steigt nicht stetig mit zunehmender Feuchte an. Die Kurven besitzen ein Maximum. Bei zu hoher Feuchte fallen die Werte wieder ab. Diese Tatsache könnte durch eine Verringerung des Porenvolumens und damit einer Verschlechterung der Sauerstoffversorgung erklärt werden. Es ist jedoch auch möglich, dass sich im Bodenwasser eine grössere Menge Kohlendioxyd löst.

Erwartungsgemäss liegt das Maximum der Kohlendioxydentwicklung des Mineralbodens bei einem niedrigerem Wassergehalt als beim Niedermoorboden (s. Abb. 7, S. 27). Es wird jedoch bei jedem Bodentyp etwas verschoben sein. So veranlasst die Quellfähigkeit organischen Materials den humosen Boden viel mehr Wasser aufzusaugen, als das die Mineralböden vermögen. Erst nach Zufuhr des für die Quellung notwendigen Wassers wird die für die Bodenmikroben optimal wirkende Menge erreicht.

4. Die Temperaturabhängigkeit der Bodenatmung

So bekannt die Tatsache ist, dass die Atmungsintensität der Mikroorganismen von der Temperatur beeinflusst wird, so wichtig war es zu wissen, in welcher Grössenordnung sich diese Änderung bei unseren Versuchsverhältnissen bewegt. Da später die grosse Anzahl der Versuchsgläser einen grossen Raum in Anspruch nehmen wird, kann von vorneherein nicht immer an eine Durchführung der Versuche im Thermostaten gedacht werden.

Einige Versuche über die Temperaturabhängigkeit der Bodenatmung führte SCHLÖSING (44) aus: um die Verringerung der Kohlendioxydentwicklung bei einer Temperaturerniedrigung von 24°C auf 14°C auszugleichen, musste der Boden statt 16 % Feuchtigkeit 24 % aufweisen. STOKLASA und ERNEST (32) berichten, dass durch steigende Temperatur und besonders bei 30°C

die Intensität der Atmung erhöht wird. So soll bei 35°C ca. doppelt so viel Kohlendioxyd vom Boden ausgeatmet werden, wie bei 20°C . Nach Versuchen von PETERS (48) atmeten 100 kg Erde in 3 Monaten 1024 g bzw. 1412 g Kohlendioxyd aus; die gleichen Böden um 10°C erwärmt, entwickelten 2288 g bzw. 4092 g Kohlendioxyd, ein Ergebnis, das ganz dem Gesetz von VAN'T HOFF entspricht. WEISSENBERG (47) stellte ebenfalls steigende Atmung bei Erhöhung der Temperatur fest. FRERCKS (30) erhöhte die Temperatur um 1.9°C , 4.7°C und 7.1°C und erhielt eine Zunahme der Atmung um 8 %, 13 % und 20 %, das ist weniger, als nach dem Gesetz von VAN'T HOFF zu erwarten war. DEHÉRAIN und DEMOUSSY (13) beobachteten eine anscheinend sehr hohe "Atmungsintensität" bei Temperaturen über 65°C und erklärten diesen Umstand damit, dass die rein chemische Entstehungsweise von Kohlendioxyd bei niederen Wärmegraden gering sei, jedoch mit steigender Temperatur stark zunehme. Bei unseren diesbezüglichen Versuchen wurden ein Mineralboden und ein Niedermoorboden geprüft und zwar bei: Kühlschranktemperatur (2°C), Zimmertemperatur (20°C), Brutschranktemperatur (27°C), Körpertemperatur (37°C) und einer Temperatur für thermophile Bakterien (58°C).

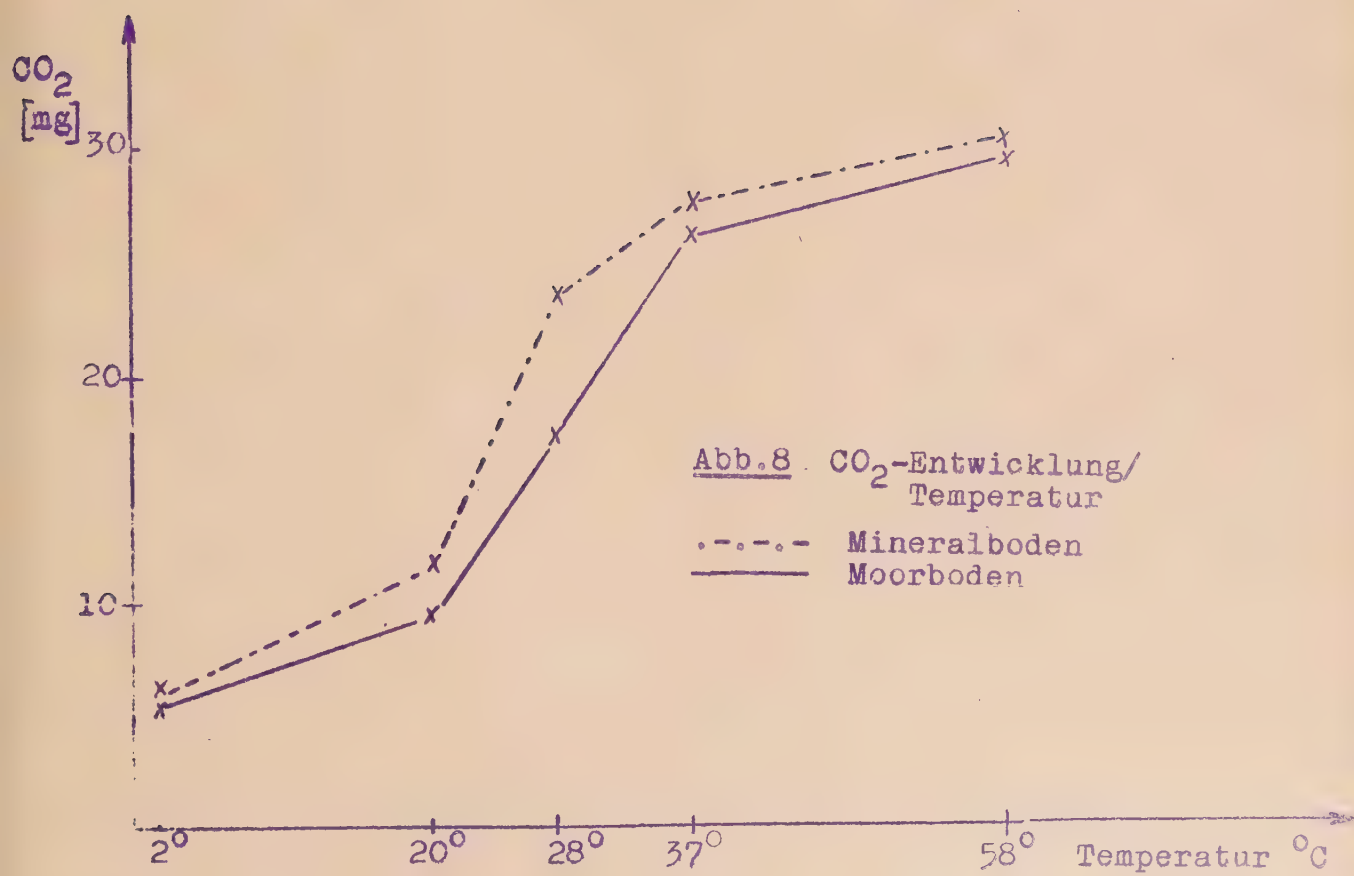
Tab.10 Abhängigkeit der gebildeten Kohlendioxydmenge von der Temperatur (nach 2 Tagen)

M i n e r a l b o d e n

Temp. $^{\circ}\text{C}$	Parallelproben (CO_2 in mg)					Mittelwert
	1.	2.	3.	4.	5.	
2	6.31	6.07	6.38	5.89	6.27	6.18
20	11.46	12.10	11.77	11.99	11.61	11.78
27	22.28	23.76	23.93	23.32	23.47	23.35
37	27.45	27.94	27.72	27.83	27.34	27.65
58	30.60	29.94	29.89	30.27	30.03	30.14

N i e d e r m o o r b o d e n

Temp. °C	Parallelproben (CO ₂ in mg)					Mittel- wert
	1.	2.	3.	4.	5.	
2	6.05	6.16	5.72	5.76	5.50	5.83
20	9.24	10.11	9.48	9.35	9.06	9.45
27	17.66	17.49	16.51	17.82	17.57	17.41
37	26.40	26.18	26.20	26.31	26.18	26.25
58	30.18	28.82	28.93	29.76	29.81	29.50



一、
 二、
 三、
 四、
 五、
 六、
 七、
 八、
 九、
 十、



Die Versuchsergebnisse lassen eine Zunahme der Kohlendioxydentwicklung in so starkem Maße erkennen, dass schon 2° bis 3° C Änderung erheblich andere Werte hervorrufen (s. Abb.8, S.30). Auffallend sind die hohen Werte bei 58° C. Bei dieser Temperatur wäre bereits wieder eine Abnahme der Atmungsintensität zu erwarten. Da in den Gläsern sehr viel Feuchtigkeit vorhanden ist, ähneln vielleicht die Verhältnisse denen in einem Treibhaus und dessen Wirkung. Wahrscheinlicher ist jedoch die Erklärung von DEHÉRAIN und DEMOUSSY (19), dass die chemische Entstehungsweise eine grosse Rolle spielt, wenn man die Werte von Mineral- und Moorboden miteinander vergleicht. Während bei den Temperaturen 20° und 27° C der Moorboden normalerweise weniger Kohlendioxyd entwickelt als der Mineralboden, sind die Werte bei den hohen Temperaturen fast gleich.

Für die folgenden Versuche, bei denen Temperaturkonstanz unbedingt notwendig ist, wurde die Temperatur von 27° C wie bisher beibehalten. Vergleichende Untersuchungen wurden jedoch bei Zimmertemperatur durchgeführt.

5. Der Einfluss der Bodenreaktion auf die Bodenatmung

Die Abhängigkeit der Atmungsintensität von der Bodenreaktion ist eine längst bekannte Tatsache. Nach WEISSENBERG (47) ruft die Kalkung des Bodens eine starke Förderung der Atmungsintensität hervor, zumal sie den Bodenbakterien, namentlich in sauren Böden, bessere Lebensbedingungen schafft.

Bei unseren Untersuchungen bewirkt eine Düngung mit sauren Mineralsalzen natürlich eine Veränderung der Wasserstoffionenkonzentration im Boden, die jedoch infolge der guten Pufferung des Bodens nicht sehr stark in Erscheinung tritt.

In Vorversuchen wurde die Änderung der Wasserstoffionenkonzentration nach Zugabe verschiedener Mengen von Kaliumdihy-

drogenphosphat gemessen.

Die Messung der Wasserstoffionenkonzentration erfolgte mit dem Ionometer nach LAUTENSCHLÄGER. Bei Mineralböden wird eine Bodenaufschwemmung mit 20 g Boden und 50 ccm 1n Kaliumchloridlösung, bei Moorböden eine solche mit 5 g Boden und 125 ccm 1n Kaliumchloridlösung bereitet. Die Aufschwemmung wird gut geschüttelt und 1 bis 2 Stunden stehen gelassen. Vor der Messung wird das Gemisch nochmals gut durchgeschüttelt, das Messglas auf 1/3 des Volumens mit Lösung gefüllt, eine Messerspitze Chinhydrin hinzugegeben, nach gutem Durchschütteln die Messelektrode (Platinelektrode) eingesetzt und nach einer halben Minute die Potentialdifferenz gegen eine Kalomelelektrode gemessen.

Tab.11 Änderung des pH-Wertes durch primäres Kaliumphosphat

KH_2PO_4 g/g	pH verschiedener Proben			
	1.	2.	3.	4.
0	7.07	6.17	6.04	4.84
20	7.01	6.05	6.01	4.70
100	6.82	5.96	5.94	4.58

Die Änderung der Wasserstoffionenkonzentration ist immerhin beachtenswert. Deshalb wurde ein Versuch unternommen, den Reaktionszustand des Bodens zu verändern und zwar in demselben Maße, wie er durch das primäre Kaliumphosphat verändert wird. Die Versuchsergebnisse sind jedoch nur mit Einschränkung brauchbar, da nicht festgestellt werden kann, ob die Änderung der Atmungsintensität auf die unterschiedliche Bodenreaktion zurückgeht oder auf eine direkte Wirkung des zugegebenen Stoffes auf die Mikroorganismen.

Zur Veränderung der Bodenreaktion wurde 1/10n Salzsäure verwendet. Die Versuchsdauer betrug 4 Tage.

Tab.12 Die Atmungsintensität bei verschiedenen pH-Werten

Zugabe von 1/10 n HCl in ccm	entspr. mg KH_2PO_4 pro 5 ² ccm Lösung	Boden A		Boden B	
		pH	mg CO_2	pH	mg CO_2
0.00	0.0	6.78	17.96	6.75	17.06
1.00	3.3	6.76	18.80	6.73	17.92
2.05	7.0	6.70	19.46	6.68	19.80
3.70	14.0	6.63	21.32	6.65	20.40
7.50	25.0	6.53	23.10	6.61	21.40
1n HCl in ccm					
1.6	50	6.43	24.35	6.40	23.63
3.2	100	6.15	25.63	6.01	24.50

Die Zunahme der Atmungsgrösse mit Erhöhung der Wasserstoffionenkonzentration erklärt sich zum Teil durch die Schaffung günstigerer Bedingungen für die Bodenpilze, zum Teil vielleicht durch die Wirkung der Chloridionen. Um nun die Wirkung der Änderung der Bodenreaktion auszuschalten, wurde in späteren Versuchen an Stelle des sauren Kaliumdihydrogenphosphats ein Puffergemisch von Kaliumdihydrogenphosphat und Dinatriumhydrogenphosphat gegeben (pH = 6.98).

V. Praktische Untersuchungen von Böden auf
ihre Phosphorsäuredüngebedürftigkeit

1. Die Bedeutung der Phosphorsäure für die Bodenmikroben

Bekanntlich benötigen die Bodenmikroorganismen dieselben Nährstoffe, wie die höheren Pflanzen. Dies gilt vor allem für den Kernnährstoff "Phosphorsäure". Stellt doch der Gehalt der Mikroorganismen an Phosphorsäure den höchsten Prozentsatz gegenüber allen übrigen Mineralstoffen dar. Rund 50 % der Asche von Bakterien und zahlreichen Pilzen bestehen aus Phosphorsäure, das bedeutet 4 bis 5 % der Trockensubstanz.

Tab.13 Mineralstoffgehalt verschiedener
Mikroben (nach RIPPEL-BALDES)

Mikrobenart	P ₂ O ₅	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO
Bact.prodigosum (Serratia)	37.9	11.5	29.0	4.1	7.8
Mycob.tuberculosis	47.0	8.2	11.5	8.6	9.8
Essigsäurebakterien	47.5	18.0	2.9	10.7	8.0
Azotobacter chroococcum	55.4	26.9	nicht bestimmt		
Bierhefe	54.3	21.1	2.3	7.6	6.3
Boletus edulis	26.1	57.8	0.9	6.0	2.4

Bei der grossen Bedeutung der Phosphorsäure für alles Leben erscheinen diese Zahlen nicht zu hoch. Eine grosse Rolle spielt das Element Phosphor als Baustein: die Nucleoproteide, die für den Aufbau von Eiweiß und Enzymen, sowie genetisch eine betrieblige Bedeutung, sowie an organischen Phosphor; ebenso für Volutin, Lecithin und andere Phosphatide bildet er einen wesentlichen Bestandteil. Für den Stoffwechsel ist der Phosphor unentbehrlich: ohne Phosphorylierung ist ein Stoffumsatz der Kohlehydrate nicht möglich. Weiter dienen Phosphorverbindungen, zum Beispiel ATP, zur

Energieübertragung. Nicht zu vergessen ist die Bedeutung phosphorsaurer Salze aus Zell-Puffersubstanzen. Nach RIPPEL-BALDES (49) sind $\frac{3}{4}$ des Gesamtphosphorsäuregehaltes in Nukleinsäuren und $\frac{1}{6}$ in Desoxyribonukleinsäure enthalten.

2. Die Durchführung der Mikrodüngung

Nachdem unsere bisherigen Versuche ergeben hatten, dass bei gleichen Versuchsbedingungen (Bodenmenge, Zeit, Temperatur, Wassergehalt und Bodenreaktion) ein Boden eine konstante Atmungsintensität besitzt, konnte daran gegangen werden, durch Veränderung eines weiteren Faktors, nämlich des Nährstoffs Phosphorsäure, dessen Einfluss auf die Bodenatmung kennen zu lernen.

Wenn nämlich nach obenstehenden Angaben erwiesen ist, dass die Mikroorganismen des Bodens Phosphorsäure brauchen, dann müssen sich doch in ihren Lebensäusserungen, vor allem in der Atmung, je nach den ihnen zur Verfügung stehenden Phosphorsäurekonzentrationen Veränderungen bemerkbar machen; dies umso mehr, als Phosphatumsätze bei Dissimilationsvorgängen eine hervorragende Rolle spielen; man denke nur an ATP und an Glykolyse phosphorylierter Kohlehydrate.

Nach GERICKE (50) wirkt die Phosphorsäure des Bodens sowohl als Nährstoff für die höheren als auch für die niederen Pflanzen (Mikroben).

Aus diesen Erwägungen heraus führten wir die Atmungsversuche so durch, dass der zu prüfenden Bodenprobe einmal eine Nährsalzlösung mit sämtlichen lebenswichtigen Elementen jedoch ohne Phosphor (Mangellösung) und einmal im Vergleichsversuch neben dieser Mangellösung unterschiedliche Konzentrationen von Phosphat (Volldüngungsversuch) zugesetzt wurden.

Die relativen Unterschiede der Kohlensäureproduktion zwischen gedüngten Bodenproben und den Blindversuchen zeigen nach Art des Düngungsversuches von POSCHENRIEDER und WAN-SART (10), NIKLAS-POSCHENRIEDER und TRISCHLER (51) und SEKERA (11) die Reaktion auf Phosphorsäuredüngung und geben somit Aufschluss über die Phosphorsäuredüngebedürftigkeit fraglicher Böden.

In der Literatur finden sich widersprechende Angaben über die Förderung der Atmung durch Phosphorsäuredüngung. Während HESSELING VAN SUCHTELEN (13) bei Zugabe von 0.1 g Superphosphat zu 100 g Boden eine Zunahme der Kohlendioxidmenge von 0.1450 g auf 0.3066 g feststellte und STOKLASA (52) diesen Befund bestätigte, berichten MERCKLE (53) und WESTHUES (20) von einer hemmenden Wirkung der Phosphorsäure auf die Bodenatmung.

Das lässt sich damit erklären, dass bei zu hohen Phosphorsäurekonzentrationen eine Hemmung der Lebensaktivität eintritt.

Das sind aber nur Ausnahmefälle. Im allgemeinen wird man bei steigenden Phosphatgaben eine Steigerung der Atmungsintensität feststellen und so aus der Atmungsgrösse auf die Phosphorsäuredüngebedürftigkeit eines Bodens schliessen können.

3. Die Herstellung von Nährsalzlösungen

Im Verlauf der Versuche wurden folgende Lösungen verwendet:

a) Mangelnährlösung

Die Mangellösung (Volllösung ohne Phosphorsäure = V-P), die sämtliche für die Mikroorganismen wichtigen Nährsalze mit Ausnahme von Phosphat enthält, wurde folgendermaßen hergestellt:

Von jeweils 1 normalen Lösungen wurden 90 ccm Ammoniumnitrat-, 80 ccm Kaliumchlorid- und 10 ccm Magnesiumsulfatlösung vermischt, dieser Mischung 1 ccm einer erweiterten BOAGLANDschen AZ-Lösung zugegeben und eindampft auf einen Liter mit dest. Wasser aufgefüllt.

Die HOAGLANDsche AZ-Lösung enthält in 18 Liter Wasser:

1.0 g $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	1.0 g ZnSO_4
0.5 g KJ	1.0 g $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
0.5 g KBr	1.0 g $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
1.0 g TiO_2	1.0 g $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
0.5 g $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	1.0 g FeCl_3
0.5 g LiCl	0.5 g NaVO_3
7.0 g $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	1.0 g NaSiO_3
11.0 g H_3BO_3	0.5 g $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$

Von dieser Mangellösung wurden stets 1 ccm und damit an Makronährstoffen jeweils 2.5 mg N, 3.9 mg K_2O und 0.30 mg MgO zu 40 g Boden gegeben.

b) Phosphatlösungen

Als Phosphatkonzentrationen wurde ausser den, von PORCHENRIEDER und WANSART (10) für den Aspergillus-Sorptionsversuch verwendeten einige höhere verabreicht, da bei Moorböden mit einer starken Festlegung der Phosphorsäure zu rechnen ist. Die Konzentrationen wurden so gewählt, dass jeweils die gewünschte Menge Phosphat in 5 ccm Lösung enthalten war. Diese stets gleichbleibende Menge war zwecks Konstanthaltung des Wassergehaltes notwendig.

Tab.14 Konzentrationen der Phosphatlösungen (Kaliumdihydrogenphosphat)

Konzentrationen	g P_2O_5 pro Ltr.	g KH_2PO_4 pro Ltr.	mg P_2O_5 pro 5ccm
I	0.66	1.26	3.3
II	1.40	2.67	7
III	2.80	5.34	14
IV	5.00	9.55	25

Konzentrationen	g P_2O_5 pro Ltr.	g KH_2PO_4 pro Ltr.	mg P_2O_5 pro 5ccm
V	10.00	19.10	50
VI	20.00	38.20	100
VII	25.00	47.75	125
VIII	40.00	76.40	200
IX	50.00	95.50	250

Zu Vergleichsversuchen wurden Lösungen hergestellt, die entsprechend den Konzentrationen V und VI Dikaliumhydrogenphosphat, Diammoniumhydrogenphosphat und als mineralische Düngemittel Thomasmehl, Fernaniaphosphat und Superphosphat enthielten.

Zur Düngung verwendeten wir neben den reinen Salzen ein Salzgemisch von Kaliumdihydrogenphosphat und Dinatriumhydrogenphosphat, da reines Kaliumdihydrogenphosphat sauer reagiert und damit den Reaktionszustand des Bodens ändert. Das Puffergemisch entspricht in der Wasserstoffionenkonzentration einem pH-Wert von 6.98. Nach SÖRENSEN wird diese Reaktion durch 4.0 Teile Kaliumdihydrogenphosphat (9.078 g KH_2PO_4 pro Liter) und 6.0 Teile Dinatriumhydrogenphosphat (11.876 g Na_2HPO_4 pro Liter).⁺ verursacht.

Herstellung des Puffergemisches

Die zu den folgenden Untersuchungen verwendeten Proben stammen aus einem Felddüngungsversuch auf einem phosphorsäurearmen Boden.

⁺ Zur Herstellung von 500 ccm dieses Gemisches werden 200 ccm Lösung, die 3.628 g Kaliumdihydrogenphosphat enthalten, mit 300 ccm Lösung, in der 7.122 g Dinatriumhydrogenphosphat gelöst sind, miteinander vermischt. Diese Lösung entspricht der obigen Phosphorsäurekonzentration. 2.000 ccm dieser Konzentration VI hergestellt.

men Niedermoorboden der Versuchsanstation Schleissheim bei München. Sie wurden auf 2 mm gesiebt und in gläsernen Standzylindern gut verschlossen aufbewahrt, sodass sie vor dem Austrocknen geschützt waren.

Eine erste Atmungsmessung ohne Düngung sollte klären, inwieweit die Kohlendioxydproduktion bei verschiedenem Phosphorsäuregehalt des Bodens voneinander abweicht.

Die Bodenmenge betrug bei allen folgenden Versuchen stets 40 g, wenn nicht eine andere Menge besonders vermerkt ist. Sie wurden bei einer Temperatur von 27° C oder bei Reihenuntersuchungen bei Zimmertemperatur niemals unter 20° C durchgeführt.

Tab.15 Vergleich zwischen Bodenatmung und Ernteertrag

Boden Nr.	D ü n g u n g	mg CO ₂ n. 2 Tagen Ø aus 5 Parallelen	Ernteertrag kg Grünmasse pro 50 qm
321 + 323 -	ohne Rohphosphat	8.29	144.2
286 + 608 -	80 kg P ₂ O ₅ als Thomasmehl	8.48	150.4
650 + 611 -	80 kg P ₂ O ₅ als Rohphosphat	8.89	159.6
645 + 544 -	80 kg P ₂ O ₅ als Thomasmehl und Roh- phosphat im Wechsel 1955, 1954, 1953	9.02	162.5
+ =	Oberkrume (Bodenentnahme 0-18 cm Tiefe)		
- =	Unterkrume (Bodenentnahme 18-40 cm Tiefe)		

Bei der Prüfung der einzelnen verschieden gedüngten Bodenproben auf ihre Atmungsgrösse ergaben sich, wenn auch geringe, so doch deutliche Unterschiede.

a) Düngungsversuche mit den Phosphorsäurekonzentrationen
I und II

Die ersten Düngungsversuche wurden bei Zusatz der Phosphatlösungen I und II zu den Phosphorsäuremangelböden 321 und 323 durchgeführt. Die Ergebnisse hierzu bringt Tabelle 16 (CO₂-Bildung in mg).

Tab.16 Phosphorsäuredüngungsversuch
mit Konzentration I und II

Boden Nr.	Versuchsdauer (in Tagen)	Parallelen	O (ohne P ₂ O ₅)	Phosphatkonzentration	
				I	II
321	2	1	8.35	8.00	8.64
		2	7.67	7.91	8.03
		3	8.06	8.23	7.89
		Mittelwert	8.02	8.04	8.15
	4	1	15.75	15.47	15.40
		2	15.33	15.83	15.21
		3	15.62	15.55	15.61
		Mittelwert	15.56	15.61	15.40
323	2	1	5.98	5.88	5.33
		2	6.22	6.37	5.94
		3	5.83	5.64	5.79
		Mittelwert	6.01	5.96	5.68
	4	1	11.19	11.30	11.55
		2	11.30	11.02	11.03
		3	10.87	10.88	11.10
		Mittelwert	11.12	11.06	11.22

Es war überraschend, dass bei diesen phosphorsäurearmen Proben nicht die geringsten Unterschiede in der Kohlendioxydproduktion festgestellt werden konnten. Möglicherweise waren die verabreichten Phosphatgaben zu gering

um die Bakterientätigkeit sichtbar anzuregen oder sie wurden von den Bodenkolloiden adsorptiv gebunden, also für die Mikroorganismen unverwendbar festgelegt.

b) Düngungsversuch mit den Phosphorsäurekonzentrationen
V und VII

Nunmehr waren Versuche mit den höheren Phosphorsäurekonzentrationen V und VII notwendig. Hierzu wurden die Böden 321 ohne Phosphorsäuredüngung und 544 mit 3-jähriger Thomasmehl- und Rohphosphatdüngung im Wechsel verwendet.

Tab.17 Phosphorsäuredüngungsversuch mit Konzentration V und VII (nach 4 Tagen)

Boden Nr.	Parallelen	0	Phosphatkonzentration	
			V	VII
321	1	17.11	18.04	19.14
	2	16.83	18.01	19.35
	3	16.61	18.30	19.47
	Mittelwert	16.85	18.11	19.47
544	1	21.09	18.92	17.38
	2	20.77	18.83	17.71
	3	21.12	19.44	17.64
	Mittelwert	20.99	19.06	17.57

Der Düngungsversuch mit Boden 321 zeigt eine deutliche Steigerung der Kohlendioxydentwicklung, während beim Versuch mit Boden 544 die Kohlendioxydmengen merkwürdigerweise zurückgehen. Die hohen Phosphatkonzentrationen scheinen bei den bereits gut mit Phosphorsäure versorgten Böden eine Depression hervorgerufen zu haben.

(Bei den Tabellen 17, 18, 19 und 20 handelt es sich um die CO₂-Bildung in mg.)

c) Düngungsversuche mit den Konzentrationen V und VII und Glucosezusatz

Durch einige Vorversuche wurde die Beobachtung gemacht, dass die Atmungsintensität bei Zugabe einer Kohlenstoffquelle erheblich gesteigert wird. Diese Tatsache sollte nun dazu dienen, die im vorigen Versuche erzielten Unterschiede noch deutlicher zu machen.

Deshalb wurde der Versuch (entsprechend Tab.17, S.41) nochmals frisch angesetzt und zusätzlich zu jeder Bodenprobe 5 ccm einer 10 % Glucoselösung gegeben. Die Versuchsdauer wurde auf 2 Tage verkürzt.

Tab.18 Wiederholung des Düngungsversuches mit den Konzentrationen V und VII unter Zugabe von Glucose

Boden Nr.	Parallelen	C	Phosphatkonzentration	
			V	VII
321	1	30.04	30.58	31.05
	2	30.03	30.80	31.04
	3	30.25	30.76	31.71
	Mittelwert	30.10	30.71	31.27
541	1	32.17	30.95	30.01
	2	32.33	31.27	30.24
	3	32.14	31.53	30.20
	Mittelwert	32.21	31.38	30.21

Wie vorherzusehen war, erbrachte der Zusatz von Glucose als Energiequelle zwar eine bedeutende Steigerung der Atmungsintensität, jedoch kamen die Unterschiede durch die Phosphatzusätze aber weniger deutlichen Bsparen, sodass bei den folgenden Versuchen auf die Glucosegabe verzichtet werden. Es wurde nun nochmals versucht, ob nicht durch weitere Erhöhung der Phosphatkonzentration bessere Ergebnisse zu erzielen wären.

d) Düngungsversuche mit den Konzentrationen VI und IX

Nun wurden 3 Böden, ein ungedüngter (323), ein einmalig mit Phosphorsäure gedüngter (650) und ein 3-jährig gedüngter Boden (654) miteinander verglichen. Versuchsdauer = 4 Tage.

Tab.19 Phosphorsäuredüngungsversuch mit den Konzentrationen VI und IX

Boden Nr.	Parallelen	O ⁺)	V-P ⁺⁺)	Phosphatkonzentration	
				VI	IX
323	1	11.68	11.26	13.53	14.14
	2	11.68	10.86	12.81	13.90
	3	11.52	11.66	13.14	14.08
	Mittelwert	11.62	11.26	13.16	14.04
650	1	21.24	19.80	19.25	19.05
	2	21.78	19.97	19.27	19.60
	3	20.90	19.39	20.30	19.62
	Mittelwert	21.30	19.72	19.60	19.42
654	1	21.97	20.23	19.49	16.01
	2	21.91	20.72	19.97	16.42
	3	21.97	20.28	19.80	15.86
	Mittelwert	21.87	20.64	19.75	16.26

Aus den Ergebnissen obigen Versuches geht hervor, dass beim ungedüngten Boden die Phosphorsäuredüngung die Bodenatmung fördernd wirkte, während sie beim gedüngten Boden einerseits artigerweise eine hemmende Wirkung ausübte. Beim Boden 650 war weder eine Förderung noch eine Hemmung ersichtlich.

Da durch die verschiedene Felddüngung ein unterschiedlicher Gehalt an Phosphorsäure im Boden vorhanden war, kann man die drei Böden nach ihrer Phosphorsäuredüngebedürftig-

⁺) O = dest. Wasser
⁺⁺) V-P = Vollnährlösung ohne Phosphat

keit wie folgt einteilen:

Boden 323:	Bodenatmung gefördert	= Phosphorsäurearm
Boden 650:	Bodenatmung kaum verändert	= bedingt mit Phosphorsäure versorgt
Boden 654:	Bodenatmung mehr oder weniger gehemmt	= nicht phosphorsäurebedürftig

Inwieweit diese Dreiteilung aufrecht zu erhalten bzw. überhaupt berechtigt ist, sollen Versuche mit einem umfangreichen Bodenmaterial beweisen.

Die Hemmung der Atmung kann durch eine Überkonzentration an Salzen erklärt werden, durch welche die biologische Aktivität der Mikroben vielleicht beeinträchtigt wird; ähnliches ist auch am Wachstum der höheren Pflanzen zu beobachten..

Versuche mit noch höheren Phosphatkonzentrationen bewirkten ebenfalls eine Verminderung der Kohlensäureentwicklung und bestätigten die vorhergehenden Befunde.

Für die folgenden Versuche dienten die 30 g Bodenproben der Klassen V und VI, doch wird das jeweils angegeben.

5. "Modellversuche" mit Quarzsand und Mikrobenreinkulturen

Um unter exakten Bedingungen den Einfluss der Bodenbeschaffenheit auf die Entwicklung der Mikroorganismen zu studieren, führten wir Versuche mit Reinkulturen und bestimmten Mikroorganismen durch. Dazu wurde gereinigter Seesand von MARIK, sowie ein entsprechend vorbehandelter Flußsand aus der Isar verwendet; beide waren 3 Stunden im Muffelofen bei 500° C ausgeglüht worden.

Versuchsmethodik:

Die Versuchsgläser wurden mit 40 g Quarzsand oder Flußsand gefüllt, die Bodenproben in die Kohlendioxydbestimmungsgläser gelegt, diese mit

Deckel versehen, in den Trockenschrank gestellt und trocken sterilisiert. Nach Abkühlen der Gefässe wird der Quarzsand mit einer sterilen Nährlösung (5 ccm) von folgender Zusammensetzung befeuchtet:

1 Liter Lösung enthält 5 g Glucose, 1 g Kaliumnitrat, 0.2 g Calciumkarbonat, 0.5 g Magnesiumchlorid, 0.2 g Eisen-2-chlorid, 2 g Natriumchlorid, 1 g Asparagin und 1 ccm HOAGLANDsche AZ-Lösung. Dazu werden in die Schalen 5 ccm steriles Wasser (Blindversuch) bzw. 5 ccm sterile Phosphatlösung der Konzentration V und jeweils 1 ccm der folgenden Mikrobensuspensionen gegeben:

Bac. subtilis, Bact. proteus, Serratia marcescens, Aspergillus niger, Mucor racemosus und Penicillium expansum.

Die Versuchsdauer für Bakterien betrug 4, diejenige für Schimmelpilze nur 2 Tage. Diese Zeit war völlig ausreichend, da vor allem die Pilzkulturen bereits innerhalb kurzer Zeit grosse CO_2 -Mengen produzierten.

Tab. 20 Phosphorsäuredüngungsversuch mit Mikrobenreinkulturen auf Quarzsand

Mikrobenart	Parallelen	Phosphatkonzentration		Steigerung in %
		0	V	
Bact. subtilis	1	13.42	21.10	
	2	12.10	21.65	
	Mittelwert	12.80	21.37	66.9
Bact. proteus	1	16.06	26.84	
	2	17.82	27.82	
	Mittelwert	16.94	27.33	61.3
Bact. proteus	1	10.45	16.70	
	2	11.11	17.43	
	Mittelwert	10.78	17.07	58.3
Aspergillus niger	1	21.55	28.38	
	2	20.27	29.37	
	Mittelwert	20.91	28.87	38.0

Alle Mikrobenstämme mit Ausnahme von *Penicillium expansum* reagierten sehr deutlich auf das Vorhandensein von Phosphorsäure. *Penicillium expansum* bildete zwar mit Phosphorsäure etwas mehr Myzel, die Atmung ging jedoch zurück. Bei *Aspergillus niger* und *Mucor racemosus* dagegen verlief die äussere Entwicklung parallel zur Atmungsintensität (s. Abb. 9-11, S. 47).

6. Düngungsversuche mit verschiedenen Phosphaten

Die Düngungsversuche zur Ermittlung einer brauchbaren Phosphorsäurekonzentration waren ausschliesslich mit Kaliumdihydrogenphosphat durchgeführt worden. Aus verschiedenen Gründen war es bedeutsam, die Düngewirkung auch anderer Phosphatverbindungen zu studieren. Zu diesem Zweck wurden Lösungen mit den Konzentrationen V (50 mg P_2O_5 /5 ccm Lösung) und VI (100 mg P_2O_5 /5 ccm Lösung) von Dikaliumhydrogenphosphat, Natriumdihydrogenphosphat, Thomasmehl, Rhenaniaphosphat und Superphosphat zur Düngung verwendet.

Tab. 21 Düngungsversuch zu Boden Nr. 236
mit verschiedenen Phosphaten

Düngungsmittel	50 mg P_2O_5 nach 4 Tagen	
	50 mg P_2O_5	100 mg P_2O_5
Kaliumdihydrogenphosphat	12.71	12.30
Natriumdihydrogenphosphat	12.71	12.70
Thomasmehl	12.60	12.10
Rhenaniaphosphat	11.40	11.05
Superphosphat	11.60	11.05
Unbehandelter Boden	11.35	11.40
Unbehandelter Boden	11.35	11.40



Abb. 9

Quarzsand +
Vollnährlösung
ohne P_2O_5
beimpft mit
Aspergillus niger



Abb. 10

Quarzsand +
Vollnährlösung
mit P_2O_5
beimpft mit
Aspergillus niger



Abb. 11

Quarzsand mit
Mucor racemosus
beimpft; links
Nährlösung ohne
 P_2O_5 , rechts
Nährlösung mit
 P_2O_5 .

Auffallend ist dabei, dass die Handelsphosphate nicht in dem Maße steigend auf die Atmungsintensität einwirken, wie die reinen anorganischen Salze. Ihre schwächere Wirkung ist wohl auf die geringere und dazu noch weniger konstante Löslichkeit zurückzuführen. Die bessere Wirkung der sekundären Phosphate ist dadurch zu erklären, dass der pH-Wert des Bodens für die Mikroben günstiger wird.

7. Untersuchung lufttrockener Mineral- und Moorböden

Zu den ersten praktischen Versuchen wurde ein Bodenmaterial verwendet, das hinsichtlich seines Phosphorsäurezustandes besonders schlecht oder gut versorgt war. Es handelt sich um Proben, die mit anderen Methoden (Laktat- oder Zitratmethode nach KÖNIG-HAGENBAUMER) schon untersucht worden waren und somit zum Vergleich herangezogen werden konnten. ⁴⁾

Da die Böden im lufttrockenen Zustand etwa ein halbes Jahr lagerten, wurden sie auf einen Wassergehalt von 32 % gebracht und 3 Tage in eine feuchte Kammer gestellt. Dann erst erfolgte der Phosphatzusatz. Die Versuchsdauer betrug 4 Tage.

⁴⁾ Das Bodenmaterial und die dazu nötigen Unterlagen wurden uns freundlicherweise von Herrn Hr. SCHWAIBOLD aus der Bayer. Landesanstalt für Moorwirtschaft und Landkultur in München zur Verfügung gestellt, wofür ihm an dieser Stelle bestens gedankt sei.

ausschliesslich die Phosphatversorgung und die Hemmung der Kohlenstoffatmung angesprochen wird.

Nachdem die Versuche mit Mineralböden befriedigende Ergebnisse erbracht hatten, wurden nun auch Moorböden, die uns besonders interessierten, zu Untersuchungen herangezogen und zu diesem Zwecke erst auf 50 % Feuchtigkeit gebracht. Die Versuchsdauer betrug infolge der geringen Atmung 5 Tage.

Tab. 23 Prüfung der Atmungsgrösse von Moorböden und Vergleich der Ergebnisse mit denen der Zitronensäuremethode

Boden Nr.	Parallelen	CO ₂ in mg				Steige- rung (+) bzw. Hem- mung (-) in %
		C	V-F	IV	VI	
4166	1	29.93	26.77	28.82	33.44	+ 22.3
	2	29.64	27.51	28.44	32.98	
	3	29.44	26.92	28.53	32.67	
	Mittelwert	29.46	27.00	28.59	33.03	
4170	1	24.61	23.03	25.21	29.24	+ 23.1
	2	24.40	22.67	25.64	29.52	
	3	24.53	23.00	25.92	29.11	
	Mittelwert	24.51	22.90	25.62	29.22	
4130	1	20.02	19.93	21.07	20.74	+ 6.4
	2	20.64	19.64	20.59	20.95	
	3	20.07	19.08	20.87	20.45	
	Mittelwert	20.24	19.54	20.84	20.71	
4371	1	26.16	23.65	27.18	29.83	+ 14.4
	2	25.94	24.11	27.36	29.64	
	3	26.54	24.37	27.69	29.51	
	Mittelwert	26.22	24.04	27.41	29.66	
4167	1	30.29	28.69	26.68	27.23	- 4.7
	2	30.67	28.40	26.01	27.00	
	3	30.04	28.11	26.83	26.64	
	Mittelwert	30.33	28.40	26.50	26.95	

Mit Ausnahme des Bodens Nr.4366 stimmen die Ergebnisse gut mit der Beurteilung nach der Zitratmethode überein; aber die Ausschläge sind hier kleiner als bei Mineralböden.

8. Untersuchung frischer Moorböden und Vergleich der Ergebnisse mit denen der Laktatmethode

Wenngleich trockene Bodenproben gute Ergebnisse brachten, so war es trotzdem unerlässlich, frisches Material zur Untersuchung heranzuziehen.

Zwei Felddüngungsversuche auf Moorböden aus der Moorversuchstation Bremen waren geeignet, zumal sie nach der von STEINFATT und HOFFMANN (8) abgeänderten Laktatmethode untersucht worden waren. ⁺)

Alle bisherigen Methoden zur Bestimmung der pflanzenlöslichen Nährstoffe Kali und Phosphorsäure sind für organogene Böden, wie z.B. unsere Hoch- und Niedermoorböden nicht besonders geeignet. Aus diesem Grund wurden die NEUBAUER- und die Laktatmethode verschiedentlich etwas abgeändert. Der Vergleich gewinnt dadurch an Interesse, besonders weil auch die Werte der verbesserten Laktatmethode nicht den gewünschten Erwartungen entsprachen.

Die Proben waren im naturfeuchten Zustand in Zellophanbeuteln verpackt und wurden nach Einlauf bei uns in gut verschlossenen Glaszylindern aufbewahrt.

Infolge der geringen Menge des zur Verfügung stehenden Bodenmaterials konnte leider nur mit 25 g Boden gearbeitet werden. Die Versuchsdauer wurde auf 7 Tage ausgedehnt. Die CO₂-Werte in mg stellen das Mittel aus je 2 Parallelen dar.

⁺) Herrn Dr. W. STEINFATT sei an dieser Stelle für die Überlassung der Proben und entsprechenden Angaben bestens gedankt.

Tab.24 Prüfung der Proben zweier Felddüngungsversuche auf ihre Phosphatdüngesbedürftigkeit und Vergleich der Ergebnisse mit denen der Laktatmethode

1. Versuch:

Proben - Nr.	73	74	75	76	77	78	79	80	81
0 V-P IV V CO₂ in mg	15.30 15.18 14.19 16.01	18.60 18.56 19.27 16.10	17.35 17.12 14.79 17.73	15.35 15.26 14.79 11.12	24.40 24.75 18.83 15.68	23.18 23.58 17.64 18.15	20.98 20.76 17.68 17.64	20.48 20.65 19.25 15.30	20.15 20.46 19.62 15.12
Steigerung (+) bzw. Hemmung (-) in %	+5.5	-13.2	+3.5	-27.2	-36.4	-23.1	-15.0	-25.4	-26.1
Beurteilung der Düngebedürftigkeit	mäßig	keine	mäßig	keine	keine	keine	keine	keine	keine
mg P ₂ O ₅ in 100 g Boden	2.5	1.2	1.7	0.7	0.7	1.0	1.2	1.0	1.1
Beurteilung nach Laktatmethode	a l l e p h o s p h a t a r m								
Düngung 1955 P ₂ O ₅ in kg	200	150	100	50	-	-	-	-	-
Düngung vor 1955 P ₂ O ₅ in kg	-	25	50	75	100	125	150	175	200
Ertrag an Korn kg/ha	15.7	-	-	-	15.4	-	-	-	21.0
Ertrag an Stroh kg/ha	35.9	-	-	-	34.5	-	-	-	35.4

Tab.24 2.Versuch

Proben Nr.	5a	5b	6a	6b	7a	7b	8a	8b
O	18.15	26.11	28.60	29.36	24.64	23.43	30.40	30.60
V-P	17.60	26.04	28.38	28.22	24.48	20.79	28.02	27.41
III CO ₂	17.05	22.30	25.25	-	20.70	19.67	24.97	-
IV in mg	17.55	21.26	24.15	26.95	19.47	19.47	23.78	22.28
V	17.30	20.90	22.39	24.23	18.52	19.11	22.06	21.13
Steigerung (+) bzw. Hemmung (-) in %	-1.7	-19.7	-21.1	-14.1	-24.4	-8.1	-21.2	-22.8
Beurteilung	nicht düngedürftig							
mg P ₂ O ₅ in 100 g Boden	1.1	1.5	0.9	1.6	1.0	3.2	2.4	1.9
Beurteilung nach Laktatm.	phosphorsäurearm							
bepflanzt (+) oder unbe- pflanzt (-)	+	-	+	-	+	-	+	-
Düngung	-K ₂ O	-P ₂ O ₅		-P ₂ O ₅	+K ₂ O+P ₂ O ₅			-K ₂ O
Ertrag an Kartoffeln Dz/ha	276	-	220	-	166	-	187	-

Vergleicht man beim 1.Düngungsversuch unsere Ergebnisse mit der Beurteilung nach der Laktatmethode, so ist keine Übereinstimmung festzustellen. Nach unserem Befund wären alle Proben als ausreichend bis gut mit Phosphat versorgt zu bezeichnen. Beachtet man aber die gedüngten Phosphorsäuremengen, so sieht man, dass die Abnahme der hemmenden Wirkung von Boden Nr.73 bis 77 mit ~~einer~~ Verringerung der 1955 gedüngten Phosphorsäuremenge parallel geht. Die Proben Nr.78 bis 81 weisen ungefähr einen gleichen Rückgang der Atmungsintensität auf. Die jährliche Düngungsmenge, wenn-

gleich auch 1955 nicht gedüngt wurde, betrug immerhin 100 bis 200 kg. Solche Phosphorsäuremengen können nicht restlos jedes Jahr von den Pflanzen aufgenommen werden. Das ist jedoch aus den Laktatwerten nicht ersichtlich. Düngung und Ernteergebnis bestärken also unseren Befund.

Ähnlich liegen die Verhältnisse beim 2. Düngungsversuch. Auch diese Proben erwiesen sich als nicht phosphorsäurebedürftig, ganz im Gegensatz zu den Laktatwerten. Vergleicht man den Ertrag an Kartoffeln zwischen den Parzellen mit und ohne Phosphorsäuredüngung, so sieht man, dass der Ertrag auf den Parzellen ohne Phosphorsäuredüngung höher ist als auf den Parzellen mit Phosphorsäuredüngung. Also dürfte der Boden nicht arm an Phosphorsäure sein.

9. Versuche zur Prüfung der Notwendigkeit einer Vollnährlösung ohne Phosphat (V-P)

Auf Grund der allgemeinen Feststellung, dass die Vollnährlösung ohne Phosphat (V-P) die Kohlendioxydentwicklung gegenüber den Kontrollen mit dest. Wasser verringert, wurde ein Versuch durchgeführt, der zeigen sollte, ob diese Nährlösung grundsätzlich notwendig ist.

Vorhergehende Versuche erwiesen, dass ausser der Phosphorsäure verschiedene Makronährstoffe, insbesondere das Kalium, für die Bodennährstofforganismen ausschlaggebend waren und somit nicht als Minimumfaktoren in Frage kamen. Dasselbe gilt für die Spurenelemente, sofern es sich nicht um ausgesprochene Mangelböden handelt.

Es wurden nur für die folgenden Untersuchungen je eine Bodenprobe mit 5 ccm Phosphatlösung bzw. mit 5 ccm dest. Wasser versetzt und die Atmungswerte miteinander verglichen.

Tab.25 Vergleichende Phosphatdüngung mit Mangellösung (V-P) und mit dest.Wasser. CO₂ in mg n.2 Tagen; Ø aus 3 Parallelen.

Boden Nr.	O	V-P	(V-P) + Konz. V	(V-P) + Konz.VI	Steigerung in %
323	14.40	12.01	16.54	17.45	21.1
611	14.54	12.63	15.77	17.83	22.0
			Konz.V ohne (V-P)	Konz.VI ohne (V-P)	
323	14.40	12.01	17.99	20.19	42.0
611	14.54	12.63	18.04	19.60	34.8

Demnach kamen die Unterschiede in der Atmungsgrösse bei Verwendung von Wasser und reinen Phosphatlösungen deutlicher zum Ausdruck.

Tab.26 Versuche ohne Mangellösung und Vergleich der Ergebnisse mit denen der Zitratmethode (nach % Tagen)

Boden Nr.	Parallelen	CO ₂ in mg			Steige- rung in %	mg P ₂ O ₅ in 100g Boden	Beurtei- lung
		O	V	VI			
4475	1	31.32	32.35	33.59		78.4	gut versorgt
	2	31.69	32.16	33.11			
	3	31.08	32.47	33.16			
	Mittel- wert	31.36	32.32	33.16	+ 5.4	bedingt dünged.	
4474	1	30.91	32.51	32.73		58.8	gut versorgt
	2	31.60	32.19	32.54			
	3	30.84	32.11	33.25			
	Mittel- wert	31.11	32.27	32.84	+ 5.1	bedingt dünged.	
4147	1	22.25	24.64	25.30		11.6	schlecht versorgt
	2	22.69	24.91	25.87			
	3	22.17	24.24	25.62			
	Mittel- wert	22.47	24.59	25.59	+13.9	stark dünged.	

Diese Versuche wurden zugleich mit dem Lösungsgemisch Kaliumdihydrogenphosphat und Dinatriumhydrogenphosphat wiederholt und keine grundsätzlichen Änderungen wahrgenommen, sodass für die weiteren Versuche dieses Gemisch verwendet wurde (Herstellung siehe Abs.3).

10. Prüfung von Proben eines Düngungsversuches mit verschiedener organischer Düngung

Herr Prof.Dr.SAUERLANDT, ^{†)} Direktor des Instituts für Humuswirtschaft stellte uns 6 Bodenproben aus einem Versuch zur Verfügung, der vor allem organische Düngung erhalten hatte. Die Proben wurden in der gleichen Weise geprüft, wie die in den vorhergehenden Versuchen.

Tab.27 Prüfung der Proben des Felddüngungsversuches Völkenrode

Probe Nr.	CO ₂ in mg; 3 mal 3 Stunden			Fem- nung in %	mg P ₂ O ₅ in 100g Boden	Art der Düngung
	O	V	VI			
1	11.02	10.44	9.69	-12.0	16.6	keine org.D.
2	11.27	10.33	10.00	-	16.0	20 kg Frischmist
3	11.77	11.62	11.00	- 6.5	21.0	20 kg Frischmist
4	9.73	9.65	8.98	- 7.7	20.9	20 kg Sta- pelmist
5	10.13	10.24	9.55	- 5.6	17.8	60 kg ⁺⁺⁾ Frischmist
6	8.64	8.97	6.47	-25.2	27.1	60 kg ⁺⁺⁾ Mistkompost

^{†)} Hierfür, sowie für die Mitteilung der Ergebnisse der Luftatmehode sei Herrn Prof.Dr.SAUERLANDT an dieser Stelle bestens gedankt.

⁺⁺⁾ 1 mal in 3 Jahren.

Hinsichtlich der Phosphatversorgung des Bodens. stimmen die Ergebnisse, Hemmung der Bodenatmung und damit hoher Phosphatgehalt, mit den Laktatwerten überein.

Die Parzellen mit Frischmist zeigen die höchsten Atmungswerte, entsprechend dem grössten Gehalt an verwertbarem organischen Material und ^{den} grossen Bakterienzahlen.

11. Untersuchung von Proben eines Phosphorsäuredauerdüngungsversuches *)

Neben der Phosphorsäuredüngung waren verschiedene Stickstoffgaben in Form von Ammoniumsulfat, Kalkstickstoff und Natronsalpeter gegeben worden. Der Dauerdüngungsversuch war besonders wertvoll, da die Differenzdüngung bereits 1922 begonnen wurde. Die Nutzung im Versuch erfolgte nach dem System der freien Fruchtfolge.

Die Bodenproben (s. Tab. 28, S. 58/59) wurden auf einen Wassergehalt von 33 % gebracht. Die Versuchsdauer betrug 4 Tage.

Überraschend war, dass auch die mit Phosphorsäure gedüngten Bodenproben eine Zunahme der Bodenatmung gegenüber den Kontrollen erkennen lassen. Bedenkt man aber, dass die Proben erst nach der Ernte genommen und die gedüngten Phosphorparzellen nicht sehr gross sind, so erklärt sich leicht, warum diese Hausparzellen keinen grossen Vorrat an Phosphorsäure besitzen. Die Phosphorsäuremangelböden zeigen eine Zunahme der Kohlendioxidmenge von 33 bis 50 % gegenüber den Kontrollen.

Die Stickstoffdüngung hat sich auf die Bodenatmung nicht für längere Zeit auswirken können. Wie schon erwähnt, verschwindet der Stick-

*) Herr Dr. Emil Tiedt, 1894-Direktor an der Bayer. Landesanstalt für Pflanzenbau und Pflanzenschutz München, überliess mir schon aus einem Dauerdüngungsversuch aus Versorgungsgebiet Hederling, wofür wir ihm an dieser Stelle besonders danken möchten.

Tab.28 Auswertung der Proben des Phosphorsäuredau-
erdüngungsversuches Niederling bei München

Par- zelle	Düngung	pH pro KCl	Kalk- geh. in %	mg P ₂ O ₅ in 100g Boden	Beur- teil- ung	CO ₂ in %		Steig. (+) od. (-) Hem- mung %
						C	VI	
1	PK	6.6	0.34	26.0	I ⁺)	17.60	16.52	- 6.1
2	N ₁ PK ++)	6.4	0.12	22.3	I	14.26	15.97	+ 12.0
3	N ₂ PK	6.7	0.28	21.8	I	16.39	17.38	+ 6.0
4	N ₃ PK	6.7	0.14	25.5	I	14.75	15.62	+ 5.2
5	PK	6.5	0.20	28.5	I	14.93	16.04	+ 7.1
6	N ₁ PK	6.4	0.26	24.0	I	13.49	14.65	+ 8.6
7	N ₂ PK	6.9	1.04	31.0	I	13.15	14.42	+ 9.6
8	N ₃ PK	7.0	3.12	38.0	I	12.54	14.92	+ 18.4
9	K	6.9	0.60	15.7	III	14.43	17.71	+ 23.7
10	N ₁ K	6.5	0.18	7.1	III	14.67	17.48	+ 19.2
11	N ₂ K	6.8	0.16	8.3	III	12.98	18.45	+ 42.4
12	N ₃ K	6.7	0.18	8.6	III	12.65	16.91	+ 33.8
13	K	6.6	0.06	8.2	III	13.75	17.60	+ 28.1
14	N ₁ K	6.3	0.04	5.2	III	14.64	18.00	+ 23.0
15	N ₂ K	6.8	0.16	9.0	III	14.90	17.33	+ 16.2
16	N ₃ K	6.8	0.38	12.0	III	13.65	18.25	+ 33.8
17	PK	6.5	2.36	35.5	I	14.43	16.28	+ 12.8
18	N ₁ PK	7.0	2.56	30.0	I	17.53	18.59	+ 6.0
19	N ₂ PK	7.0	3.12	38.0	I	14.37	15.90	+ 10.7
20	N ₃ PK	7.0	4.80	45.0	I	15.86	16.59	+ 4.5
21	PK	7.0	3.16	38.0	I	14.69	16.48	+ 12.2
22	N ₁ PK	6.9	1.60	29.5	I	15.29	16.37	+ 7.1
23	N ₂ PK	6.8	0.52	32.0	I	14.74	16.51	+ 12.0
24	N ₃ PK	6.7	0.20	29.0	I	14.56	15.62	+ 7.5
25	K	6.9	0.40	14.5	II	15.08	20.51	+ 36.2
26	N ₁ K	6.9	0.92	12.8	II	14.37	18.09	+ 26.0
27	N ₂ K	7.0	3.08	18.0	II	11.40	20.50	+ 79.8
28	N ₃ K	7.1	3.28	18.0	II	11.45	19.48	+ 70.4
29	K	7.1	3.72	17.2	II	13.54	21.19	+ 56.6
30	N ₁ K	7.0	0.96	15.5	II	14.20	20.53	+ 43.9
31	N ₂ K	7.1	0.48	14.8	II	14.65	18.40	+ 25.6
32	N ₃ K	6.9	0.18	10.5	II	12.61	17.24	+ 40.7
33	PK	6.7	0.18	28.8	I	15.43	17.95	+ 16.3
34	N ₁ PK	6.7	0.46	20.0	I	16.72	18.06	+ 8.0
35	N ₂ PK	6.9	1.43	21.8	I	16.06	17.92	+ 11.8
36	N ₃ PK	6.9	1.20	24.0	I	14.77	16.42	+ 19.5

* N₁ - Ammoniumsulfat, N₂ - Kalkstickstoff, N₃ - Gessonsalipeten.

+*) Klassifikation nach Laktatmethode. I - gut versorgt, II - mäßig versorgt, III - schlecht versorgt (in Bezug auf Phosphorsäure).

Par- zelle	Düngung	pH pro Kol	Kalk- geh. in %	mg P ₂ O ₅ in 100g Boden	Beur- tei- lung	CO ₂ in mg		Steig- (+) od. (-) Hem- mung %
						V	VI	
37	PK	6.6	0.44	28.0	I	17.48	18.94	+ 8.3
38	N ₁ PK	6.2	0.22	21.5	I	16.64	18.53	+ 11.3
39	N ₂ PK	6.6	0.18	25.5	I	17.04	18.31	+ 7.4
40	N ₃ PK	6.7	0.28	19.0	II	17.25	18.05	+ 4.6
41	K	6.8	0.24	11.0	III	15.29	19.63	+ 28.4
42	N ₁ K	6.7	0.16	6.9	III	16.00	18.53	+ 22.1
43	N ₂ K	7.0	0.24	6.4	III	17.33	20.75	+ 19.7
44	N ₃ K	6.9	0.16	3.7	III	15.32	22.10	+ 44.3
45	K	6.6	0.14	3.5	III	17.08	21.70	+ 27.0
46	N ₁ K	6.2	0.08	2.8	III	17.73	20.48	+ 15.5
47	N ₂ K	6.7	0.16	2.4	III	15.30	20.47	+ 33.8
48	N ₃ K	6.7	0.14	1.9	III	16.11	19.74	+ 22.5
49	PK	6.6	0.16	26.0	I	17.16	18.93	+ 10.3
50	N ₁ PK	6.8	0.82	18.5	II	17.90	19.54	+ 9.2
51	N ₂ PK	6.8	0.52	28.5	I	17.04	17.85	+ 4.8
52	N ₃ PK	6.9	0.44	19.5	II	17.59	17.94	+ 2.0
53	PK	6.8	0.04	23.0	I	16.74	16.95	+ 1.3
54	N ₁ PK	6.5	0.28	14.7	II	18.71	17.80	+ 5.3
55	N ₂ PK	6.6	0.20	25.0	I	18.16	18.05	- 0.6
56	N ₃ PK	6.6	0.26	20.0	I	17.16	17.73	+ 3.3
57	K	6.6	0.12	4.5	III	16.44	19.05	+ 13.9
58	N ₁ K	6.6	0.38	2.5	III	16.85	19.14	+ 11.6
59	N ₂ K	7.0	0.20	4.6	III	17.35	21.22	+ 22.3
60	N ₃ K	6.9	0.70	2.9	III	16.81	21.66	+ 28.9
61	K	7.0	1.92	5.6	III	15.30	20.31	+ 32.7
62	N ₁ K	7.0	1.03	5.7	III	17.05	21.89	+ 28.4
63	N ₂ K	7.0	0.68	5.4	III	17.25	21.23	+ 23.1
64	N ₃ K	6.9	0.36	6.3	III	17.31	22.54	+ 30.2

stoff rasch aus dem A Horizont (oberste Boderschicht) des Bodens, sodass im Herbst nicht mehr mit einer grossen Wirkung der Stickstoffdüngung gerechnet werden kann.

Die Wiederholungen im Düngungsplan zeigen, dass zwar quantitativ keine genauen Grenzzahlen im Vergleich zur Laktatmethode angegeben werden können, a b e r d o c h e i n e

brauchbare Übereinstimmung der Wiederholungen für eine gute Reproduzierbarkeit der Ergebnisse spricht. Die 4 Versuchsreihen unterscheiden sich nicht wesentlich hinsichtlich der absoluten Atmungswerte; die Böden entstammen alle dem lehmigen Mineralbodentyp des diluvialen Schottergebietes.

Im Gegensatz dazu liegen die Laktatwerte bei der Reihe ohne Phosphorsäuredüngung in den Wiederholungen oft stark auseinander. SCHAEFFLER (54) kritisiert deshalb diese Methode:

"Die Höhe der NEUBAUER- und Laktatwerte lässt ohne ausreichende Kenntnis der jeweiligen Standortverhältnisse und ohne Vorliegen genügend langjähriger und gesicherter Ertragswerte aus Feldversuchen kein Urteil über die allgemeine Ertragsfähigkeit eines Standortes und seine Eignung für bestimmte Früchte zu."

Bemerkenswert erscheint, dass entsprechend den Erwartungen die schlechten P_2O_5 -versorgten Böden viel stärker mit Atmungssteigerungen antworten als die phosphatreicheren.

2. Untersuchung der Proben von Felddüngungsversuchen an moorigen Böden und Moorböden auf ihre Phosphorsäurebedürftigkeit und Vergleich der Ergebnisse mit denen der Laktatmethode ^{*)}

Die Übereinstimmung mit der Klassifikation nach den Laktatwerten kann im allgemeinen als gut bezeichnet werden (s. Tab. 20, S. 61).

^{*)} Herrn Oberregierungsrat a.D. Dr. STOCKER von der Thomas-mehl-Beratungsstelle München sind wir für die Bereitstellung der Proben sowie der Überlassung der Laktatwerte zu grossem Dank verbunden.

Tab. 29 Vergleich der Ergebnisse mit denen der Laktatmethode

Boden-Nr.	Teil-stück	Entnahmestiefe in cm	Felddüngung kg / ha			pH/EC	CO ₂ in mg nach 4 Tagen	
			P	K	N		O	VI
244	1	0-5	-	-	-	5.15	27.20	41.35
	1	5-10	-	-	-	4.25	16.44	24.20
	2	0-5	-	80	-	4.55	28.37	41.48
	2	5-10	-	80	-	4.25	14.05	23.70
	3	0-5	90	80	-	4.90	20.68	18.67
	3	5-10	90	80	-	4.30	12.83	21.21
	4	0-5	-	80	40	4.40	24.90	39.43
	4	5-10	-	80	40	4.25	14.64	23.45
	5	0-5	90	80	40	5.20	26.35	31.59
	5	5-10	90	80	40	4.40	13.68	22.45
281 A	1		-	-	-	5.65	23.64	30.40
	2		80	-	40	5.60	24.30	28.24
	3		60	80	40	5.90	24.90	27.06
	4		90	80	40	6.20	21.45	22.79
	5		60	-	40	6.15	23.80	29.76
281 B	6	0-5	180	80	60	6.25	35.42	36.49
	6	5-10	180	80	60	6.05	29.08	31.49
	7	0-5	240	80	60	6.45	33.75	32.00
	7	5-10	240	80	60	6.85	23.36	24.09
250	1	0-5	-	120	40	4.80	32.50	43.94
	1	5-10	-	120	40	4.60	21.78	31.35
	2	0-5	60	120	40	4.25	33.72	36.85
	2	5-10	60	120	40	4.70	27.94	33.65
	3	0-5	-	-	-	4.90	38.50	52.12
	3	5-10	-	-	-	4.35	21.56	30.34
	4	0-5	120	120	40	5.55	38.10	39.63
	4	5-10	120	120	40	5.85	21.36	25.40
289	1		-	-	-	6.35	23.71	22.69
	2		60	-	40	6.25	23.93	21.87
	3		60	120	40	7.00	23.67	24.54
	4		90	120	40	6.35	25.75	23.14
369	1		-	-	-	5.35	26.41	28.65
	2		60	120	40	5.35	24.71	27.14
	3		-	-	-	5.15	22.81	35.12
	4		120	120	40	5.35	24.91	27.27
	5		60	-	40	6.35	25.31	28.11

Ein Düngungsversuch wurde nochmals auf Hochmoorboden aus der Moorversuchsstation Bremen untersucht.

Tab.30 Untersuchung von Hochmoormöden und Vergleich mit den Befunden der Laktatmethode

Boden Nr.	CO ₂ in mg		Steig.(+) Fämmg.(-) in %	mg P ₂ O ₅ in 100g Boden	Beur- tei- lung	Ernteer- träge Heu Dz' / ha
	0	VI				
137	12.10	11.00	+ 9.0	0.8	III	22.9
138	26.46	26.34	- 0.4	1.1	III	
139	20.76	19.58	- 5.7	1.1	III	
140	17.04	15.29	-10.2	2.9	III	34.6
141	30.82	28.13	- 9.3	14.1	I	
145	23.71	23.09	- 2.6	16.1	I	
146	12.82	12.43	- 3.0	1.1	III	31.0
147	22.99	20.69	-10.0	1.2	III	
151	19.20	18.04	- 6.0	1.0	III	
152	18.61	17.42	- 6.7	1.0	III	23.9
153	22.66	19.31	-14.3	1.1	III	
157	16.58	10.45	-37.1	0.9	III	
158	20.02	17.82	-11.0	1.0	III	19.8
159	21.13	16.89	-20.0	0.9	III	
163	14.30	13.35	- 6.6	0.8	III	
164	18.43	16.94	- 8.0	1.0	III	Winter- roggen
165	24.75	25.05	+ 1.2	1.2	III	
170	16.01	14.03	-12.4	1.1	III	
172	17.82	16.45	- 7.6	1.2	III	13.2
174	17.42	17.75	+ 1.9	3.1	III	13.9

Keine der Proben kann nach unserem Verfahren der Atmungskohlensäurebestimmung als ausgesprochen arm an Phosphorsäure angesprochen werden, während die Laktatwerte alle sehr niedrig sind.

VI. Abhängigkeit der Atmung und Stickstoffbindung
von Azotobacter chroococcum vom Phosphorsäure-
gehalt des Bodens

Dass Azotobacter viel Phosphor benötigt, ist eine längst bekannte Tatsache. Er wurde deshalb von CHRISTENSEN (55), POSCHENRIEDER, ROLDL (56), u.a. zur Bestimmung der Phosphorsäurebedürftigkeit von Böden verwendet. Um zu prüfen, ob dieser Organismus geeignet war, die Phosphorsäurebedürftigkeit des Bodens nach unserem Verfahren zu bestimmen, wurden Versuche durchgeführt, die den Zusammenhang zwischen Atmungsintensität und Stickstoffbindung nach Impfung der Bodenproben mit Azotobacter klären sollten.

Zur Feststellung, inwieweit verschiedener Phosphorsäuregehalt des Bodens auf die Atmungsintensität von Azotobacter chroococcum einwirkt, wurde folgender Versuch durchgeführt:

Je 20 g lufttrockener Boden wurden in die üblichen Bechergläser abgewogen und in die Atmungsgefäße gestellt, diese abgedeckt und im Trockenschrank bei 125° C 2 Stunden sterilisiert. Nach Abkühlen blieben die Gefäße 2 Tage stehen, erst dann erhielt jede Probe 10 ccm sterile Nährlösung (2% Mannit, 0.05 % CaCO_3 , 0.05 % $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0.1 % KH_2PO_4 in AZ-Lösung) und 5 ccm steriles Wasser bzw. 5 ccm sterile Phosphatlösung zugesetzt. Nach dem Anfeuchten wurde die Bodenprobe mit 0.5 ccm einer homogenen Azotobactersuspension (Stamm ATCC 4412) übergeben und nach 24 Stunden quantitativ titriert.

Tab. 34 Impfversuch mit Azotobacter
chroococcum (Stamm ATCC 44/12)

Boden Nr.	CO ₂ in mg, Mittelw. aus 3 Parallelen		Steige- rung in %	mg P_2O_5 in 100g Boden
	C	VI		
4260	6.71	27.10	304.3	1.0
4149	35.92	45.18	25.8	130.0
4064	32.56	39.37	20.9	2.2

Während die unbeimpften Kontrollgefässe keinerlei Kohlendioxydentwicklung feststellen liessen, ergibt sich ein grosser Unterschied in der Atmungsintensität zwischen den Bodenproben mit und ohne Phosphorsäuredüngung. Der Boden Nr. 4149, der eigentlich reich an Phosphorsäure ist, fällt aus den Rahmen. Vergleicht man ^{das} Ergebnis mit dem der Tabelle 23 (s.S.50), so kann man wohl behaupten, dass sich ein einziger Mikroorganismus nicht so gut eignet, um mit Hilfe seiner Atmungsintensität den Boden zu prüfen. Jeder Organismus scheint an eine bestimmte Konzentration der Nährstoffe besonders angepasst und geht damit in seinen Bedürfnissen nicht immer konform mit denen der höheren Pflanzen. Auch die Möglichkeit, mit Hilfe der Stickstoffbindung von *Azotobacter chroococcum* auf die Phosphorsäureverhältnisse im Boden zu schliessen, wurde untersucht.

Je 10 g von phosphatarmen Böden wurden in oben angegebener Weise sterilisiert und mit 0.2 ccm einer homogenen *Azotobacter*suspension beimpft. Nach 2 und 4 Tagen wurden die Atmung und die Stickstoffbindung bestimmt. Nach der üblichen Atmungsmessung wurden die Proben an der Luft getrocknet und dann je 4 g Boden mit 15 ccm konz. Schwefelsäure und katalysatorartig in Epichlorhydrin aufgeschlossen. Bei der Destillation und Titration wurden n/50 Schwefelsäure bzw. Natronlauge verwendet.

Nach 2 Tagen konnten noch keinerlei brauchbare Unterschiede festgestellt werden. Die Ergebnisse nach 4 Tagen zeigt Tabelle 32 (s.S.65).

Die Atmungsintensität steigt bei Zugabe von Phosphat erheblich an, beweist also wieder das Fehlen genügender Phosphatmengen. Nicht so deutlich sind die Unterschiede des Stickstoffgehaltes. Bedenkt man, dass die schon ursprünglich vorhandene Stickstoffmenge hoch ist und zieht man diese als Blindwert ab, so ist doch eine Zunahme von 1,3 bis 4,7 mg Stickstoff innerhalb von 4 Tagen zu verzeichnen.

Tab. 32 Vergleich von Atmungsgrösse mit dem Stickstoffverbindungsvermögen von Azotobacter

Boden Nr.	Atmung: CO ₂ in mg				Steigerung in % ⁺)
	unbe- impft (Blind- wert)	b e i m p f t			
		O	V	VI	
25	5.73	61.49	77.75	73.15	20.8
29	6.35	64.02	76.73	71.10	12.4
61	4.69	64.68	73.41	76.45	19.6

Boden Nr.	Menge pro 100 g Boden				Zunahme der Stickstoff- bindung in mg (O-VI) ⁺
	unbe- impft (Blind- wert)	b e i m p f t			
		C	V	VI	
25	18.84	19.00	17.90	20.27	1.43
29	19.75	20.12	20.52	24.62	4.87
61	16.84	17.11	18.13	18.47	1.63

VII. Diskussion der Ergebnisse

Bei der in zahlreichen Einzeluntersuchungen erarbeiteten Versuchsmethodik zur Feststellung der Phosphorsäurebedürftigkeit von Böden wurde bei Verwendung von 40 g Boden, bei einer 3- bzw. 4-tägigen Versuchsdauer, unter Einhaltung von Temperaturen zwischen 20° und 27° C, sowie bei einem Wassergehalt von 30 bis 35 % für Mineralböden und 75 bis 80 % für Moorböden folgende Feststellungen gemacht:

Für die Mikrodüngung eignen sich vor allem die Alkaliphosphate, da sie wegen ihrer leichten Löslichkeit am besten verwertet werden können. Diese reagieren jedoch nicht neutral. Um die Bodenreaktion möglichst wenig zu verändern, wurde deshalb eine Mischung von Kaliumdihydrogenphosphat und Dinatriumhydrogenphosphat verwendet, deren Lösung einen pH-Wert von 6,98 besitzt. Nur bestimmte Phosphatkonzentrationen eignen sich für die Mikrodüngung und zwar solche, die im Liter Lösung 10 g P_2O_5 bzw. 20 g P_2O_5 enthalten. Von diesen Lösungen werden stets 5 ccm, entsprechend 50 mg bzw. 100 mg P_2O_5 zur Bodenprobe (40 g) gegeben. Während schwächere Konzentrationen infolge Festlegung der Phosphorsäure im Boden unwirksam blieben, wirkten stärkere stets hemmend auf die Bodenatmung. Letztere Erscheinung dürfte mit einer überoptimalen Versorgung der Mikroflora mit Phosphorsäure zusammenhängen.

Um einmal exakte Bedingungen für die Untersuchungen zu schaffen, führten wir Modellversuche mit Quarzsandkulturen durch. Diese brachte das Ergebnis, dass die meisten Mikroben auf Phosphorsäurezugabe mit verstärkter Atmung ansprechen. *Bac. subtilis*, *Serratia marcescens*, *Bact. proteus*, *Aspergillus niger*, *Mucor racemosus*. Grundsätzlich ist damit auch bewiesen, dass die unterschiedlichen Kohlendioxidmengen bei der Untersuchung der Bodenproben im Vergleich mit und ohne Phosphorsäuredüngung tatsächlich auf eine Änderung der Atmungsintensität der Mikroflora zurückzuführen ist und nicht

durch chemische Reaktion der Düngersalze mit dem Boden hervorgerufen werden.

Neben den oben genannten Mikroben wurde besonders die Atmung von *Azotobacter chroococcum* auf ihre Abhängigkeit vom Phosphatgehalt des Bodens geprüft und dabei ein sehr starkes Bedürfnis dieses Organismus in Bezug auf Phosphorsäure gefunden. Bei *Azotobacter* ergab sich die Möglichkeit, seine Atmung mit der Stickstoffbindung zu vergleichen und vielleicht die Änderung der Intensität der Stickstoffbindung als Gradmesser für den Phosphatgehalt des Bodens auszuwerten. Dabei stellte sich jedoch heraus, dass ein einziger Mikroorganismus zwar einen Phosphatmangel anzeigen kann, jedoch nicht in demselben Maße, wie bei Heranziehung der gesamten natürlichen Mikrobenlebensgemeinschaft eines Bodens. Einzelne Organismen sind stets besonderen Bodenverhältnissen angepasst und können deshalb kaum mit den höheren Pflanzen im allgemeinen in ihrer Phosphorsäurebedürftigkeit verglichen werden. Durch das Heranziehen der gesamten Lebewelt des Bodens werden etwaige Eigenheiten von Nahrungsspezialisten weitgehend ausgeglichen. Aus diesem Grund gibt wohl die Atmung der gesamten Mikroflora einen viel besserem Einblick in die Nährstoffverhältnisse als die Atmung eines einzigen Organismus. Es war deshalb auch angebracht, die natürlichen Verhältnisse möglichst wenig zu verändern, etwa durch zusätzliche Impfung mit bestimmten Mikroben.

Die Wirkung der Phosphorsäuredüngung war nicht stets gleich: Bei phosphatarmen Böden wirkte die Phosphorsäuredüngung mehr oder weniger fördernd auf die Bodenatmung; bei phosphatreichen Böden übte sie merkwürdigerweise eine hemmende W

k u n g auf die Kohlensäureentwicklung aus, Hier könnte man vielleicht von einer "Übersättigung" sprechen. Massig mit Phosphat versorgte Böden zeigten keine deutliche Reaktion. Auf Grund dieser verschiedenen Wirkung können die Böden bezüglich ihrer Phosphorsäuredüngebedürftigkeit in 3 Klassen eingeteilt werden: stark-bedingt - nicht düngedürftig. Da diese Einteilung auch bei anderen Methoden eingeführt ist, ist ein Vergleich der Ergebnisse auf dieser Grundlage möglich. /

Während bei der Untersuchung von mineralischen Bodenproben beim Vergleich mit der Zitronensäuremethode nach KÖNIG-HASENBÄUMER bzw. der Laktatmethode nach EGNER-RIEHM eine gute Übereinstimmung festzustellen war, liess sich bei der Prüfung von Hochmoorböden keine Parallelität mit der Laktatmethode finden. Da die Laktatmethode für stark humose Böden nicht unbedingt zuverlässig ist, spricht das Abweichen der Ergebnisse eher für, als gegen die Brauchbarkeit unseres Verfahrens. Im allgemeinen sind die Differenzen in der Atmungsintensität (Steigerung oder Hemmung) um so deutlicher ausgeprägt, je mehr Humus der Boden enthält. Das ist teils auf die grössere Festlegung der Phosphorsäure im Moorboden, teils auf die bereits im Boden vorhandene höhere Konzentration löslicher Verbindungen zurückzuführen.

Selbstverständlich muss die Methodik noch durch zahlreiche Untersuchungen von Böden aus exakten und langjährigen Felddüngungsversuchen weiter erprobt werden, um das Verfahren zu eichen und um genauere Grenzzahlen für die Klassifizierung der Böden hinsichtlich ihrer Düngebedürftigkeit zu finden.

VIII. Zusammenfassung

1. Die Versuchsanordnung zur Bestimmung der Bodenatmung von ISERMAYER wurde etwas abgeändert und auf ihre Zuverlässigkeit geprüft.
2. Wir ermittelten die für die Bodenatmung optimalen Versuchsbedingungen in Bezug auf Versuchsdauer, Wassergehalt der Proben, Temperatur und Bodenreaktion.
3. Zur Feststellung der Phosphorsäuredüngebedürftigkeit der Böden wurde die Atmungsgrösse der zu untersuchenden Proben mit und ohne Phosphatzugabe bestimmt und aus der ermittelten Differenz auf den Phosphorsäurebedarf im Boden geschlossen.
4. Ein Vergleich der Ergebnisse von 150 Proben mit den Werten der Zitratmethode nach KÖNIG-HASENBÄUMER bzw. der Laktatmethode nach EGNÉR-RIEHM erbrachte mit Ausnahme der extrem humosen Böden eine gute Übereinstimmung.
5. Die Ergebnisse aus der Untersuchung von Proben eines Phosphorsäuredauerdüngungsversuches zeigen eine brauchbare Reproduzierbarkeit der Methode.
6. Es ist zu hoffen, dass sich aus der hier beschriebenen, neuen Mikrodüngungs-Bodenatmungsmethode ein praktisch verwertbares Schnellverfahren zur Prüfung der Phosphatversorgung mineralreicher Kulturböden entwickeln lässt.

Literaturverzeichnis

- 1) NEUBAUER, H. u.
SCHNEIDER, W.,
Die Nährstoffaufnahme der Keimpflanzen und ihre Anwendung auf die Bestimmung des Nährstoffgehaltes der Böden. Z.Pflanzenern., Düngung und Bodenk. A 2 (1923), 329
- 2) NEUBAUER, H.,
Die Keimpflanzenmethode nach NEUBAUER und SCHNEIDER, in "Höncamp" Handbuch der Pflanzenernährung und Düngerlehre I, (1931), 882
- 3) KÖNIG, J.,
Die Ermittlung des Düngerbedarfs des Bodens. P.Parey-Verl. Berlin (1929)
- 4) LEMMERMANN, O. u.
FRESENIUS, L.,
Die Bestimmung des Düngungsbedürfnisses der Böden nach der Zitronensäuremethode. Z.Pflanzenern., Düngung und Bodenk. A 15 (1929), 249
- 5) DIRKS, B. u.
SCHEFFER, F.,
Vergleichende Untersuchungen über das Nährstoffbedürfnis der Kulturböden. Landw.Jahrb. 67 (1928), 779
- 6) DREYSPRING, C. u.
HEINZ, W.,
Über die gleichzeitige Ermittlung des leichtlöslichen Phosphorsäurevorrats und der Festlegung der Düngerphosphorsäure im Boden. Z.Pflanzenern., Düngung und Bodenk. A 35 (1934), 362
- 7) RIEHM, H.,
Bestimmung der Sorptionskapazität des Bodens bei Massenuntersuchungen nach H.RIEHM und ihre Bedeutung insbesondere für die Auswertung der Laktatwerte. Z.Pflanzenern., Düngung und Bodenk. 37 (1946), 61
- 8) HOFFMANN, W. u.
STEINFATT, K.,
Über die Bestimmung der pflanzenaufnehmbaren Nährstoffe in Hochmoorböden und stark humosen Böden. Landw.Forschung 7 H.3 (1954)
- 9) ISERMAYER, H.,
Eine einfache Methode zur Bestimmung der Bodenatmung und der Karbonate im Boden. Z.Pflanzenern., Düngung und Bodenk. 56 (1952), 29

- 10) POSCHENRIEDER, H. u.
WANSART, G.,
Der Aspergillus-Sorptionsver-
such zur Feststellung der Phos-
phorsäuredüngerwirkung im Bo-
den. Prakt.Bl.f.Pflanzenbau u.
Pflanzenschutz 14 (1936/37), 14
- 11) SEBASTIA, F.,
Der quantitative Mikrodüngungs-
versuch zur Prüfung der Dünger-
wirkung von Kali und Phosphor-
säure. Phosphorsäure 2 (1935),
527
- 12) STOKLASA, J.,
Methoden zur Bestimmung der At-
mungsintensität der Bakterien
im Boden. Z.f.landw.Vers.-Wesen.
Österr.14 (1911), 1243
- 13) HESSELING VAN
SUCHTELEN, F.H.,
Über die Messung der Lebenstät-
tigkeit der aerobiotischen Bak-
terien im Boden durch die Koh-
lensäureproduktion. Zentralbl.
Bakt.II, 28 (1910), 45
- 14) ENGEL, H.,
Kritische Bemerkungen zur Bo-
denatmung. Zentralbl.Bakt.II,
90 (1934)
- 15) BOUSSINGAULT, J. et
LEWY,
Ann.de chimie et de phys. 37
(1853), 49
- 16) SCHLÖSING, A.Th. u.
MÜNTZ, A.,
Compt.rend. 85 (1877), 1018
- 17) WOLFF, W.,
Journ.f.Landwirtsch.34 (1886),
218
- 18) FODOR, v.J.,
Hyg.Unters.über Luft, Boden und
Wasser II (1882)
- 19) DEHÉRAIN, P.P. u.
DEMOUSSY, E.,
Ann.agron. 22 (1896), 305
- 20) WESTHUES, J.,
Die Kohlensäurebildung im Bo-
den. Dissert.Münster 1905
- 21) SEWERIN, S.A.,
Die Mobilisierung der Phosphor-
säure des Bodens unter dem Ein-
fluss der Lebenstätigkeit der
Bakterien. Zentralbl.Bakt.II,
32 (1912), 499
- 22) LUNDEGÅRDH, H.,
Der Kreislauf der Kohlensäure
in der Natur. G.Fischer-Verl.
Jena 1924
- 23) FEHÉR, D.,
Über die Verwendung des Glocken-
apparates von LUNDEGÅRDH für die
Messung der CO₂-Produktion des
Waldbodens. Biochem.Zeitschr.
193 (1928), 350

- 24) SCHATNOW, W.J.,
Zur Methodik der Bestimmung der biologischen Bodenaktivität. Ber. Allunions landw. Lennin-Akad. 17 (1952), 27
- 25) HASELHOFF, E. u.
LIEHR, O.,
Der Gehalt der Bodenluft an Kohlensäure. Landw. Vers. Stat. 102, 60
- 26) GORBUNOW, N.I.,
SCHKOLNIK, R.J. u.
MOROSOWA, T.M.,
Methoden der Kohlensäurebestimmung in der Bodenluft. Literaturübersicht und eine neue Methode. Pedology 2 (1941), 43
- 27) KOEPF, H.,
Laufende Messungen der Bodenatmung im Freiland. Landw. Forschung 4 (1952), 186
- 28) KOEPF, H.,
Untersuchungen über die biologische Aktivität des Bodens. I. Teil, Z. Acker- u. Pflanzenbau 98 (1954), 289
- 29) HUMFELD, H.,
Eine Methode zur Bestimmung der Kohlendioxydentwicklung des Bodens. Soil Sci. 30 (1930)
- 30) FRERCKS, W.,
Die Bodenatmung als Mittel zur Erfassung der Mikroorganismen-tätigkeit in Moor- und Heide-sandböden, ein neues Verfahren zu ihrer Bestimmung und erste Ergebnisse. Z. Pflanzenern., Düngung und Bodenk. 66 (1954), 39
- 31) WOLLNY, W.,
Die Zersetzung der organischen Stoffe. (1897), 99
- 32) STOKLASA, J. u.
ERNEST, A.,
Über den Ursprung, die Menge und die Bedeutung des Kohlendioxyds im Boden. Zentralbl. Bakt. II, 14 (1905), 728
- 33) NIKLEWSKI, B.,
Bodenbakteriologische Beobachtungen als Mittel zur Beurteilung von Böden. Zentralbl. Bakt. II 32 (1912), 209
- 34) SEWERIN, S.A.,
Zentralbl. Bakt. II 28 (1910), 563
- 35) LEMMERMAN, O.
WIESSMANN, H.,
Über den Verlauf der Kohlensäurebildung im Boden. Z. Pflanzenern., Düngung und Bodenk. A 3 (1924), 387
- 36) MARSH, F.W.,
Ein Laboratoriumsapparat zur Bestimmung von Kohlendioxyd in Böden. Soil Sci. 25 (1927), 253

- 37) HECK, A.F.,
Eine Methode zur Bestimmung des Gesamtkarbonats des Bodens und der Kohlendioxydentwicklung. Soil Sci. 28 (1929), 228
- 38) WAKSMAN, S.A. u.
STARKEY, R.L.,
Mikrobiologische Bodenanalyse als ein Index für Bodenfruchtbarkeit. VII.Kohlensäureentwicklung. Soil Sci. 17 (1924), 141
- 39) BROWN, M.H.,
Bestimmung der Kohlensäureentwicklung im Boden. J.Am.Soc. Agron. 26 (1934), 481
- 40) SINGH, B.N. u.
MATHUR, P.B.,
Apparat zur Bestimmung der bei der Zersetzung organischer Substanz im Boden entwickelten Kohlensäure. J.Am.Soc.Agron 28 (1936), 423
- 41) GEHRING, A.,
Über die Düngewirkung der Kohlen-säure. Landw.Zeitg. 70 (1921), 181
- 42) SCHOLLENBERGER, C.J.,
Bestimmung von Karbonaten in Böden. Soil Sci. 30 (1930), 307
- 43) KAPPEN, H.,
HOFER, J. u.
GROSSE-BRAUCKMANN, E.,
Über die Wirkung des Hüttenkalks auf die Zerstörung der organischen Stoffe des Bodens und über eine einfache Methode zu ihrer Bestimmung. Z.Pflanzenern., Düngung und Bodenk. 44 (1949), 6
- 43a) STAPP, C. u.
BUCKSTEEG, W.,
Untersuchungen über die Beeinflussbarkeit mikrobiologischer Vorgänge im Boden durch das Unkrautbekämpfungsmittel Natriumchlorat. Zentralbl.Bakt.II 27 (1937), 9
- 44) SCHLÖSING, A.Th.,
Compt.rend. 77 (1873), 203
- 45) PEINAU, E.H. u.
KERTSCHER, F.,
Wissensch.Veröffentl.des Siemens-Konz. Bd.4, Heft 1, 273
- 46) FEHER, D.,
Flora 121(1927), 316
- 47) WEISSENBERG, H.,
Die Mikroorganismen-tätigkeit auf rothumushaltigem Heidesand, gemessen an der CO₂-Produktion. Z.Pflanzenern., Düngung und Bodenk. 66 (1954), 227
- 48) PETERS, E.,
Landw.Vers.-Stat. 4 (1862), 133
- 49) RIPPEL-BALDES, A.,
Grundriss der Mikrobiologie. Springer-Verl.Göttingen (1955)
- 50) GERICKE, S.,
Phosphorsäuredüngung und Bodenfruchtbarkeit. Die Phosphorsäure. 12 (1951), 39

- 51) NIKLAS, N.,
POSCHENRIEDER, H. u.
TRISCHLER, J.,
Eine neue mikrobiologische
Methode zur Feststellung der
Düngebedürftigkeit der Böden;
Bestimmung der Phosphorsäure-
düngedürftigkeit mittels
Aspergillus niger. Archiv f.
Pflanzenbau, Berlin 5 (1931),
451
- 52) STOKLASA, J.,
Mitt. Intern. Bodenk. Ges. 2
(1926), 254
- 53) MERCKLE, F.G.,
Journ. Amer. Soc. Agron. 10 (1918),
281
- 54) SCHAEFFLER, H.,
Bodenuntersuchungen, ihre Be-
deutung für Beratung und Pra-
xis. Bayer. Landw. Jahrbuch 33
(1956), 474
- 55) CHRISTENSEN, H.R.,
Zentralbl. Bakt. II, 19 (1907),
735
- 56) ROIDL, J.,
Untersuchungen über die Fest-
stellung der Phosphorsäurebe-
dürftigkeit der Böden mit Hil-
fe der biologischen Azotobac-
termethode. Diss. TH München-
Weihenstephan (1926).

Schlusswort

Die vorliegende Arbeit wurde am Botanischen Institut der Universität München (Direktor: Prof. Dr.L.BRAUNER) und an der Bayerischen Landesanstalt für Moorwirtschaft und Landkultur in München (Direktor: OLR Dr.L.FRIEDRICH) durchgeführt. Herrn Dr.FRIEDRICH sei für die Bereitstellung von Mitteln bestens gedankt.

Neben den obengenannten Herren gilt mein Dank in besonderer Weise Herrn Dr.H.POSCHENRIEDER, dem Leiter der Mikrobiologischen Abteilung und Herrn Prof.Dr.F.BUKATSCH für die Überlassung des Themas, die Anregungen zu dieser Arbeit und deren wissenschaftliche Betreuung.

Lebenslauf

Am 10. April 1930 wurde ich als Sohn des Gefängnisverwalters Franz SCHWEGLER in München geboren.

Nach dem Besuch der Volksschule in Memmingen trat ich 1941 in die Oberrealschule Memmingen ein und unterzog mich an dieser Anstalt im Juni 1950 mit Erfolg der Reifeprüfung. Im Herbst 1950 erhielt ich die Zulassung zum Studium der Naturwissenschaften an der Universität München, an der ich 1954 das Staatsexamen für das Höhere Lehramt in den Fächern Chemie, Biologie und Geographie mit Erfolg ablegte. Vom Januar 1955 bis Dezember 1956 besuchte ich erfolgreich das Pädagogische Seminar der Gisela-Oberrealschule in München. Seit Januar 1957 bin ich als Studienassessor an der Städt. Mädchen-Oberrealschule St. Anna, München, tätig.

In der Zeit vom August 1955 bis Januar 1957 fertigte ich unter der Leitung von Herrn Prof. Dr. F. BUKATSCH vorliegende Dissertation an.

